

Saku Kauppinen

KUOPION MUSIIKKIKESKUKSEN
ILMASTOINNIN
KOSTUTUSMENETELMIEN
VERTAILU

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 5.5.2015	
Tekijä(t) Saku Kauppinen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Kuopion Musiikkikeskuksen ilmastoinnin kostutusmenetelmien vertailu		
Tiivistelmä <p>Kuiva sisäilma voi aiheuttaa ongelmia puisille musiikki-instrumenteille, kuten epävireyttä ja puun lohkeilua. Tästä johtuen musiikkikeskuksissa, konserttisaleissa ja ylipäättään tiloissa, joissa soittimia käsitellään, tarvitaan ilmastoinnin kostutusta. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla Kuopion Musiikkikeskuksen ilmastoinnin erilaisia mahdollisia kostutuksen ratkaisuja. Tärkeimmiksi käsittelykohdiksi valittiin kostuttimien energiatehokkuus ja kustannukset.</p> <p>Kuopion Musiikkikeskukseen tullaan tekemään ilmastointikoneiden saneeraus ja koneet uusitaan lähivuosina. Opinnäytetyössä käsiteltiin kolmea kostutusmenetelmää: haihdutuskostutusta, sumutuskostutusta ja höyrykostutusta. Lisäksi tiedusteltiin Suomen muista konserttisaleista ja/tai musiikkikeskuksista kostutuksen ratkaisuja ja vertailtiin niitä. Itse Kuopion Musiikkikeskukseen vertailtaviksi menetelmiksi valikoituvat haihdutuskostutus sekä höyrykostutus.</p> <p>Ero haihdutuskostuttimen, eli kennokostuttimen, ja höyrykostuttimen välillä on pienemmillä ilmastointikoneilla pieni. Suuremmilla ilmastointikoneilla järkevämmäksi ratkaisuksi kustannusten ja energiankulutuksen kannalta valikoitui kennokostutin. Pienemmissä koneissa höyrykostutin on taas parempi hygieenisyyden ja edullisten investointikustannusten puolesta.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Ilmastointi, kostutus, kostutusmenetelmien vertailu, konserttisali, musiikki-instrumentit		
Sivumäärä 53+1	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Marianna Luoma	Opinnäytetyön toimeksiantaja Insinööritoimisto LVI-Insinöörit Ky	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 5.5.2015
Author(s) Saku Kauppinen	Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis The Humidification Comparison of Kuopio Music Centre		
Abstract <p>Dry indoor-air might cause problems with wooden music instruments such as detuning or cracking of wood. Therefore it is necessary to use humidification in music centres, concert halls or any kind of environments where music instruments are handled. The aim of this thesis was to compare possible humidification methods for the Kuopio Music Centre. The most important subjects were humidifiers energy efficiency and overall costs.</p> <p>There will be a machinery renovation at Kuopio Music Centre in the coming years. There are three different humidification methods examined in this thesis: evaporative humidification, fog humidification and steam humidification. Information about humidification in other concert halls or music centres in Finland was also inquired. In Kuopio Music Centre, evaporative humidification and steam humidification was selected to be examined.</p> <p>The difference between evaporative humidifier and steam humidifier is somewhat small when it comes to overall costs and energy efficiency in smaller air-handling units. But in larger air-handling units the difference is also much bigger. With larger air-handling units, the most reasonable choice for humidification was evaporative humidifier. In smaller air-handling units the steam humidifier is better choice for it is more hygiene and has lower cost for investment.</p>		
Subject headings, (keywords) Humidification, comparison of humidification methods, air-conditioning, music instruments, concert hall		
Pages 53+1	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Marianna Luoma	Bachelor's thesis assigned by Insinööritoimisto LVI-Insinöörit Ky	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ILMAN KOSTEUS.....	1
2.1	Suhteellinen kosteus	2
2.2	Absoluuttinen kosteus.....	2
2.3	Kostutuksen tarve konserttitiloissa.....	2
3	KOSTUTINJÄRJESTELMÄT	3
3.1	Haihdutuskostutus.....	4
3.2	Sumutuskostutus	5
3.3	Höyrykostutus.....	5
4	MUSIIKKIKESKUSTEN JA KONSERTTISALIEN KOSTUTUSRATKAISUT	6
4.1	Lahden Sibeliustalo	7
4.2	Helsingin Musiikkitalo	7
4.3	Helsingin Sibelius-Akatemia.....	9
4.4	Tampere-talo.....	10
4.5	Suomen Kansallisooppera	11
4.6	Yhteenvedo tarkastelluista tiloista.....	13
5	KOHTEEN ESITTELY	14
5.1	Nykytilanne.....	14
5.2	Käyttöajat.....	16
5.3	Tarkasteltavat kostutusratkaisut.....	17
6	KOSTUTUKSEN ENERGIA-, INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LASKENTA	18
6.1	Höyrykostuttimen energiankulutuksen laskenta.....	19
6.2	Kennokostuttimen energiankulutuksen laskenta	20
6.3	Lämmöntalteenoton vaikutus.....	22
6.4	Kustannukset.....	23
6.5	Sääolosuhteet Kuopiossa	25
7	KOSTUTUSMENETELMÄT JA TULOKSET TILAKOHTAISESTI	26
7.1	Kamarimusiikkisali.....	26
7.1.1	Nykyinen ratkaisu	27
7.1.2	Höyrykostutus	29

7.1.3	Kennokostutus.....	33
7.2	Konserttisali.....	36
7.2.1	Nykyinen ratkaisu.....	37
7.2.2	Höyrykostutus.....	38
7.2.3	Kennokostutus.....	41
7.3	Tulosten yhteenveto.....	44
8	TULOSTEN TARKASTELU.....	46
9	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET.....	51

LIITE

1 Mollier-diagrammi

1 JOHDANTO

Puuesineet, kuten jotkin musiikki-instrumentit, tarvitsevat tasaiset kosteus- sekä lämpötilaolot pysyäkseen hyvässä kunnossa. Mikäli ilman suhteellinen kosteus on liian alhainen, voivat puuesineetkin alkaa lohkeilla. Varsinkin talviaikaan Suomessa tämä voi olla ongelma johtuen ulko- ja sisäilman alhaisesta kosteudesta. Tähän aikaan siis sisäilma kuivuu rakennuksissa ja tästä johtuen myös puuesineet voivat alkaa lohkeilla. Jotta puiset musiikki-instrumentit saadaan pysymään kunnossa, tarvitaan tiloihin lisäksi erillistä kostutusta. Tästä syystä musiikkikeskuksissa, konserttisaleissa ja tiloissa, missä käsitellään puisia soittimia paljon, käytetään ilmastoinnin kostutusta. Tämä auttaa pitämään sisäilman suhteellisen kosteuden tasaisena ja tarpeeksi korkeana talvisin.

Ilmastoinnin kostutusmenetelmiä on useita. Oikean vaihtoehdon löytämiseen vaikuttavat useat asiat, kuten kostutuksen energiankulutus ja kostutustarve. Investointi- ja käyttökustannukset vaikuttavat myös suuresti kostutusmenetelmän valintaan. Yleensä pienemmillä investoinneilla ja käyttökustannuksilla on kostutuksen energiankulutus suurempi. Myös menetelmän hygieenisuus on tärkeää ottaa huomioon, etteivät mikroorganismit pääse kasvamaan kostuttimessa ja leviämään sitä kautta sisäilmaan.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda kattava vertailu Kuopion Musiikkikeskukseen tulevaan ilmastoinnin kostutukseen. Lisäksi tavoitteena on löytää tilakohtaisesti parhaat mahdolliset kostutusmenetelmät energiatehokkuuden ja kustannusten kannalta.

2 ILMAN KOSTEUS

Ilma sisältää käytännössä aina kosteutta, jolloin voidaan puhua kosteasta ilmasta. Vesihöyryllä on ilmassa suuri merkitys, sillä höyrynä sillä on suuri energiasisältö. Ilmassa olevaa vesihöyryä ei tavallisesti näe tai tunne. [1.] Lämpötila määrää ilmassa olevan vesihöyryn määrän. Mitä kylmempää ilma on, sitä vähemmän se voi pidättää vesihöyryä. Kosteuden määrää ilmassa ilmaistaan yleensä kahdella eri tavalla, suhteellisella ja absoluuttisella kosteudella. [2.]

2.1 Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus ilmoittaa prosentteina vesihöyryn määrän ilmassa suhteessa siihen, paljonko kyseisessä lämpötilassa vesihöyryä voi olla enimmillään. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan välillä 0-100 % nollan ollessa täysin kuivaa ilmaa ja 100 % ollessa maksimikosteus kyseisessä lämpötilassa, jolloin vesihöyry kondensoituu eli tiivistyy pisaroiksi. [2.]

Suhteellista kosteutta käytetään hyvin yleisesti ilmaisemaan kosteuden määrää ulko- tai sisäilmassa. Suhteellinen kosteus riippuu paljolti myös ilman absoluuttisesta kosteudesta, joka selitetään kohdassa 2.2. [1.] Lisäksi siihen vaikuttaa myös ilman lämpötila. Talvisaikaan ulkoilman suhteellinen kosteus on suuri, mutta absoluuttinen kosteus pieni. Tällöin, kun ulkoilmaa tuodaan ilmastointikoneella taloon sisälle ja lämmitetään, myös sen suhteellinen kosteus laskee. Tämä johtuu siitä, että lämpimämpään ilmaan mahtuu enemmän kosteutta kuin kylmään. Vesihöyryn määrä ilmassa ei lisäännä lämmittäessä ja näin ollen suhteellinen kosteus laskee. [2.]

2.2 Absoluuttinen kosteus

Absoluuttinen kosteus [g/kg tai kg/kg] ilmoittaa vesihöyryn määrän kuivaa ilmakiloa kohden. Se voidaan ilmaista myös ilmoittamalla, paljonko vesihöyryä on kuutiometrisessä ilmassa [g/m³ tai kg/m³]. Kuten suhteellisen kosteuden määritelmässä, myös absoluuttisen kosteuden määritelmässä lämmin ilma voi sisältää enemmän kosteutta kuin kylmä. Absoluuttisella kosteudella on myös yläraja, joka ilmaisee, paljonko vesihöyryä voi olla maksimissaan ilmassa kyseisessä lämpötilassa. Tätä ylärajaa kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Jos ilmaan haihtuu vettä yli kyllästyskosteuden, tällöin vesihöyry tiivistyy pisaroiksi. [3.]

2.3 Kostutuksen tarve konserttitiloissa

Tavanomaisissa tiloissa ei Suomessa tai Pohjoismaissa yleensä kosketa muutoin kuin erikoistapauksissa. Tällaisiin erikoistapauksiin voidaan lukea esimerkiksi allergikkojen ja muiden kuivasta ilmasta kärsivien huoneilman kostutus, teollisuuden pro-

sessitilat, lääketeollisuus, painotalot, kirkot, paperin valmistus, saha- ja puusepänteollisuus sekä museoissa taideteosten johdosta sekä musiikkitiloissa soittimien johdosta.

Talviaikaan pakkasilla sisäilman lämmitys muuttaa ilman suhteellista kosteutta, sillä lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus laskee. Absoluuttinen kosteus pysyy kuitenkin samana kuin ulkoilman absoluuttinen kosteus. Puiset instrumentit musiikkitiloissa kuivuvat täten myös ja soittimet alkavat oireilla ja mahdollisesti halkeilla kuivuuden johdosta. Näin ollen puiset soittimet tarvitsevat läpi vuoden tasaisen suhteellisen kosteuden tason, jotta ne pysyisivät hyvässä kunnossa. Erityisesti jousisoittimet, puupuhaltimet, flyygelit ja pianot ovat herkkiä kosteuden vaihtelulle. Äänihuuletkin voivat olla kovassa rasituksessa, mikäli ilma on liian kuivaa. [4.]

Tavoitteena on siis pitää ilman kosteus säätöyksiköillä tasaisena ja tarpeeksi korkeana läpi vuoden. Yleisesti ottaen kokemusten mukaan Suomessa yritetään pitää suhteellista kosteutta 35 – 50 % välissä konserttisaleissa ja musiikkikeskuksissa. Tavoitteiden kannalta oleellisia asioita ovat soittimien ominaisuudet, viritystason säilyminen, soittajien fysiologia ja yleisön viihtyvyys. Myös käyttövarmuus, ylläpidettävyys, energiankulutus ja kustannukset ovat oleellinen osa kostutuksen ratkaisua.

Soittimen virityksen kannalta olisi suotavaa pitää tasainen ja riittävä kosteus tiloissa, joissa niitä käsitellään. Liian suuri ja nopea suhteellisen kosteuden muutos voi johtaa suuriin ongelmiin soittimessa. Esimerkiksi pianossa voi sen kaikupohjassa esiintyä halkeamia ja soitin mennä nopeasti epävireeseen. Jos kostutettavissa tiloissa suhteellinen kosteus tippuu äkillisesti ja tilassa on useita soittimia, siinä on suuri työ virittää soittimet taas vireeseen. [5.]

3 KOSTUTINJÄRJESTELMÄT

Ilmastointikoneissa käytetään yleisesti kolmea eri kostutintyyppiä: haihdutuskostutinta, sumutuskostutinta sekä höyrykostutinta.

3.1 Haihdutuskostutus

Haihdutuskostuttimessa kostutus tapahtuu ilman sekä märän pinnan välillä. Yleisin haihdutuskostutin on kennokostutin. Siinä on suuri kostutuspinna-ala mahdollisimman pienessä tilavuudessa. [6.]

Kennokostuttimessa kenno pidetään märkänä pumpaamalla vettä kennon yläosaan, josta vesi valuu painovoimaisesti alas kennon läpi. Näin ollen kostutusasteeseen kennokostuttimessa vaikuttavat kennon kostutuspinna-ala sekä ilman otsapinta-ala. Veden pumpaaminen vie vähemmän tehoa kuin sumutuskostuttimessa, koska haihdutuskostuttimessa ei ole suuttimia, jotka aiheuttaisivat suuria painehäviöitä. [6.] Haihdutuskostuttimessa on mahdollista käyttää kiertävää vettä tai vaihtoehtoisesti kertakäyttöistä vettä. Haihduttavat kostuttimet tuottavat kylmää kosteutta, ja kostutuskammio on aina enemmän tai vähemmän märkä alue.

Mikäli haihdutuskostuttimessa käytetään kiertovettä, tällöin täytyy pitää huoli, että huolehditaan riittävästä juoksutuksesta. Tämä vaikuttaa siihen, että suolat eivät tuki kennoa ja alenna kostutusastetta. Myös vesiallas kennokostuttimessa on hyvä kasvu-alue taudinaiheuttajille ja mikro-organismeille. Haihdutuskostutin on siis hyvä varustaa viemäroinnillä, jotta koneen ollessa pois käytöstä ei vesi jäisi seisomaan vesialtaaseen. Pintahaihtumisen ansiosta mikro-organismien ja taudinaiheuttajien leviäminen ilmaan on vähäisempää kuin sumutuskostuttimissa. [6.] Haihdutuskostuttimessa on siis huomiotava riittävä huolto ja puhdistus, jotta se ei päästä epäpuhtauksia tuloilmaan ja näin ollen pilaa sisäilman laatua. Vettä on mahdollista käsitellä esimerkiksi veden pehmennyksellä, käänteisosmoosisuodatuksella, UV-säteilytyksellä tai hopeaionisoinnilla. Näillä estetään kalkin pääsy ilmanvaihtokanavistoon ja mikrobien synty kostutusalueella. Jotkin kostutinvalmistajat valmistavat myös itsestään puhdistuvia haihdutuskennoja, jotka vaativat tarkasti lasketun kennojen läpi juoksutetun veden määrän.

Haihdutuskostutuksessa ilman lämpötila laskee, sillä energia höyrystymiseen otetaan kostutettavasta ilmasta. Näin ollen kostutettava ilma tulee yleensä lämmittää ennen kostutusta, jotta ilmaan saadaan tarvittava määrä kosteutta. [7.] Lisäksi, koska ilma

jäähtyy kennokostuttimessa, tarvitaan esi- tai jälkilämmitystä tai molempia, jotta ilman lämpötila saadaan säädettyä haluttuun sisäänpuhalluslämpötilaan.

3.2 Sumutuskostutus

Sumutuskostuttimessa kostutus tapahtuu vesipisaroiden välityksellä. Tällöin vesi hajotetaan erittäin pieniksi pisaroiksi eli sumuksi sumutussuuttimella tai vaihtoehtoisesti sekoittamalla vettä ja paineilmaa. Myös sumuttaminen ultraäänellä on mahdollista.

Ultraäänisumutuksessa kostuttimeen syötetään puhdasta, esikäsiteltyä vettä, joka saatetaan värähtelyn avulla liikkeeseen. Tällöin veden pintaan syntyy mikroskooppisia aerosolihiukkasia. Kanavistossa kulkeva ilma ottaa aerosolisumun mukaansa ja samalla sumu haihtuu virtaavaan ilmaan.

Sumutuskostuttimissa pitää huomioida, että suuttimen paine on riittävä veden leviämiseen pieninä pisaroina. Vesi mahdollisesti valuu suuttimesta, mikäli veden massavirtaa säädetään kuristamalla. [6.] Suoraa sumutuskostutusta huonetiloihin käytetään lähinnä puusepäntehtaissa tai painotaloissa, joihin on myös jäähdytystarvetta [7.]

Mikäli sumutuskostuttimessa käytetään kiertovesiallasta, on sen huoltoon kiinnitettävä paljon huomiota. Vesiallas toimii hyvänä kasvualustana mikro-organismeille ja epäpuhauksille, jotka voivat kostutusprosessin yhteydessä levitä tuloilmaan. [6.] Myös sumutuskostutuksessa on vesiallas hyvä varustaa viemäröinnillä.

Sumutuskostutuksessa on alhainen energiankulutus ja sen huoltotarve on yleensä melko pieni. Myös sumutuskostutuksessa, kuten haihdutuskostutuksessa, tulee ottaa huomioon sen jäähdyttävä vaikutus ja varustaa ilmastointikone tarvittavilla lämmityspattereilla.

3.3 Höyrykostutus

Höyrykostuttimessa höyry puhalletaan höyryputkessa olevista rei'istä ylöspäin tai vastavirtaan kostutettavaan ilmaan. Höyryputken tulee myös olla hieman vinossa, jotta kondenssivesi pääsee valumaan ulos putkesta. Höyrykostutuksessa voidaan käyttää

ilmastointiprosessin yhteydessä tuotettua tai erillisissä höyryputkistoissa tuotua vesihöyryä. [7.] Höyryn massavirtaa säädetään yksinkertaisesti suoraan venttiilillä [6.]

Mikäli vesihöyryä tuotetaan kostuttimen yhteydessä, se tapahtuu vettä kuumentamalla, yleensä sähköllä elektrodien avulla. Tämän johdosta vedellä on korkeat laatuvaatimukset. Elektrodit yleensä säädetään veden laatuun sopiviksi asennuksen yhteydessä. [6.] Erilliset kostuttimet tarvitsevat yleensä melko korkean sähkötehon ja se tulee ottaa huomioon energiankulutuksessa sekä käyttökustannuksissa. Höyryn massavirtaa saadaan säädettyä muuttamalla lämmitystehoa, helpoimmillaan vain ohjaamalla sähkötehoa on/off-periaatteella. [7.]

Höyrykostutin on kaikista hygieenisin kostutintyyppi, ja sitä käytetään sekä ilmastointilaitteissa että huonetiloissa. Höyry on yleensä vähintään 100 °C lämpötilassa, joten sen korkea lämpötila estää sienten, bakteerien, levien ja muiden mikro-organismien kasvun [6.] Höyrykostuttimet ovat yleensä laiteinvestointeina edullisempia kuin haihdutus- tai sumutuskostuttimet. Käyttökustannukset ovat kuitenkin yleensä korkeammat. Tämä johtuu siitä, että höyry muodostetaan sähköllä ja sähkö on kalliimpi energiamuoto. Höyrykostuttimissa on myös huoltotarve melko suuri, sillä vettä keitetäessä vedessä olevat ainesosat saostuvat ja muodostavat niin sanottua kattilakiiveä. Tämä aiheuttaa sen, että höyrykostuttimia tulee puhdistaa tietyin aikavälein.

4 MUSIIKKIKESKUSTEN JA KONSERTTISALIEN KOSTUTUSRATKAISUT

Suomen suurimmista kaupungeista löytyy tyypillisesti musiikki- ja/tai kongressikeskus, konserttisali tai jokin vastaava rakennus, jossa järjestetään konserttitapahtumia ja käsitellään näin ollen soittimia jatkuvasti. Kaikissa näissä rakennuksissa on näiden tilojen osalta myös kostutus käytössä soittimien kunnossapidon takaamiseksi. Tähän opinnäytetyöhön on valikoitu viisi eri rakennusta, joiden kostutusratkaisuita käsitellään.

4.1 Lahden Sibeliustalo

Lahden Sibeliustalo on vuonna 2000 valmistunut puinen kongressi- ja konserttikeskus. Se sijaitsee Ankkurikadulla Vesijärven rannalla Lahdessa. Sibeliustalon kokonaistilavuus on 90 000 m³, ja siihen kuuluu useita tiloja, joista suurimpana on pääsali. Pääsalissa järjestetään konsertteja, ja siellä käsitellään näin ollen soittimia usein. Tästä johtuen myös Sibeliustalon pääsalissa on ilmanvaihdon kostutus.

Pääsalin tilavuus on 40392 m³ (51m x 36m x 22m), ja siihen mahtuu yleisöä yhteensä 1100 henkilöä, permannolle 675 henkilöä ja kahdelle parvelle yhteensä 425 henkilöä. Salin kosteusvaatimuksena on noin 45 % suhteellista kosteutta, jossa se pyritään pitämään. Salin lämpötilana on pyritty pitämään 20 - 22 °C. Ilmanvaihto säätyy salissa automaattisesti lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Päiväsaikaan kone käy noin puolella teholla ja konserttien aikaan suuremmalla teholla. Salissa ei ole kostutusta erikseen näyttämölle, joten koko salissa on sama 45 % kosteusvaatimus. [8.]

Pääsalin kostutusmenetelmänä on ilmastointikoneen yhteydessä oleva haihdutuskostutus eli kennokostutin. Ilmastointikoneessa on nestekiertoinen glykoli-lämmöntalteenotto, joten se ei siirrä kosteutta tuloilmaan. Kierrätysilmaa koneessa käytetään vain talvisaikaan kovemmilla pakkasilla, mikäli komponentit alkavat jäätymään ja tarvitaan lisälämmitystä kierrätysilmalla. Kokemuksen mukaan pääsalin kennokostutus on toiminut hyvin ja pitänyt kosteuden halutussa arvossa. Kuitenkin varsinkin alkusyksystä olisi tarvetta myös kuivatukselle, sillä suhteellinen kosteus nousee liian suureksi tuohon aikaan vuodesta. Sibeliustalossa on myös muita tiloja, joissa käsitellään soittimia. Nämä pienemmät harjoitustilat on kostutettu höyrykostuttimilla. [8.]

4.2 Helsingin Musiikkitalo

Helsingin Musiikkitalo on musiikkikeskus, joka on valmistunut vuonna 2011. Se sijaitsee Helsingissä Töölönlahdenkadulla. Rakennuksessa on kuusi salia, joissa käsitellään musiikki-instrumentteja. Lisäksi rakennuksessa on useita luokkahuoneita ja muita pienempiä tiloja, joissa soittimia käsitellään. Suurin tiloista on konserttisali. [9.]

Konserttisali on suuri sali, jossa on yleisöpaikkoja yhteensä 1704 henkilölle. Permanolla paikkoja on 1226 henkilölle ja parvella 478 henkilölle. Salin esiintymislava on kooltaan 283 m². Kostutuksen vaatimuksena tilaan oli alun perin yli 35 % suhteellista kosteutta. Lämpötilana pyritään pitämään 20 - 22 °C. Salin ilmanvaihto on toteutettu kolmella ilmastointikoneella. Yksi koneista palvelee pelkästään näyttämöä ja kaksi konetta katsomoa, eriteltynä oikea ja vasen puoli erikseen. Näyttämöllä on syrjäyttävä ilmanvaihto, jonka sisäänpuhalluslämpötila on noin 21,5 °C. [9.]

Katsomon kosteusvaatimusta ei määritelty erikseen, mutta koska katsomossa ei ollut kostutusta, olosuhteet vaihtelivat talviaikaan liiaksi. Muutenkin pelkkä näyttämön ilmastointikone ei pystynyt pitämään kosteutta kuin juuri ja juuri määritellyssä 35 prosentissa, joskus ei edes siinä. Näin ollen katsomoon tuleviin ilmastointikoneisiin lisättiin kostutus jälkeensä tasaisten olosuhteiden ylläpitämiseksi. Käyttöönoton jälkeen määriteltiin kosteus samaksi jokaiseen tilaan, missä käsitellään soittimia. Helsingin Musiikkitalossa päädyttiin 42 prosenttiin. [9.]

Päiväsaikaan konserttisalissa katsomon koneet ovat pois päältä ja näyttämön kone päällä. Käyttöajan ulkopuolella näyttämön konetta käytetään kierrätysilmalla, jotta saadaan pidettyä kosteutta yllä vuotojen takia. Kaikkien kostutettujen tilojen ilmastointikoneissa on käytössä regeneratiivinen lämmöntalteenotto, eli pyörivä lämmöntalteenotto. Tämä siirtää kosteutta poistoilmasta tuloilmaan ja vähentää kostuttimen energiankulutusta. Ilmastointikoneen yhteydessä on myös lämmitys- ja jäähdytyspatterit. [9.]

Kostutusmenetelmänä Musiikkitalon konserttisalissa on sumutuskostutus näyttämölle ja katsomon koneissa höyrykostutus. Sumutuskostutuksessa käytetään öljytöntä paineilmaa ja DI-vettä. DI-vesi tarkoittaa käänteisosmoosilla puhdistettua vettä, eli deionisoitua vettä. Höyrykostuttimessa käytetään vesijohtovettä. [9.]

Kokemusten mukaan sumutuskostutus oli melko vaikea saada toimimaan halutulla tavalla. Syitä tähän oli useita, muun muassa paineilmakompressorin epäluotettavuus ja se, että paineilmakompressori ei ollut todellisuudessa öljytön. Myös kostuttimen säätöä oli vaikea saada huojumattomaksi ja standardianturit eivät kestäneet kanavassa. Ilman virtauskenttä kammiopuhaltimen ja äänenvaimentimen jälkeen ei ollut sumu-

tukselle otollinen ja ilman virtaus oli myös lisäksi epätasainen. Kostutuskammiot ovat pienehköt ja kostuttimen maahantuojaja ja toimittaja oli pieni toimija. Höyrykostuttimet taas toimivat kokemuksen mukaan melko hyvin, mutta koska katsomossa on lämpökuormaa, on lämmöntalteenotto täysillä vasta -10 °C pakkasella ja näin ollen kosteuden siirto on vajaata tähän asti. Konserttisalin ja lämpiön välillä on myös lämpötilaeroja ja talvella suuri ero ilman kosteudessa. Näin ollen tilojen välillä on viihtyisyyseroa ja saliin kulkeutuu kuivaa ilmaa auki olevien ovien kautta lämpiöstä. Lämpiössä olisi siis kokemuksen mukaan voinut olla peruskostutus. Talviaikaan myös joudutaan laskemaan lämpötilojen asetusarvoja $1,0 - 1,5\text{ °C}$, sillä kostea ilma tuntuu talvella ja talvivaatteissa hautovalta. Tiloissa on kesälle ja talvelle omat asetusarvot, ja ne vaihdetaan manuaalisesti yleensä kesäkuussa ja loka-marraskuussa. [9.]

Muista saleista yksi on yhdellä ilmastointikoneella ja loput neljä jaettuna siten, että yksi kone palvelee kahta salia. Musiikkitalon muissa saleissa on sama 42 % kosteusvaatimus käytössä. Sibeliuksen Akatemian opetustiloissa kuitenkin pidetään hieman alhaisempaa kosteustasoa kuin saleissa. [9.]

4.3 Helsingin Sibeliuksen Akatemia

Helsingin Sibeliuksen Akatemialla on Helsingissä kolme tilaa, joissa se toimii: N-talo Nervanderinkadulla, T-talo Töölönkadulla sekä Helsingin Musiikkitalo Töölönlahdenkadulla. N-talossa sekä T-talossa on useita harjoittelutiloja, luokkahuoneita sekä huoltotiloja, joissa käsitellään soittimia. Näin ollen myös näissä rakennuksissa käytetään tilakohtaista kostutusta. Tiloissa ei ole suurempaa konserttisalia. [10.]

N-talon ja T-talon suhteellisen kosteuden vaatimuksena on asetettu 30 %. Lämpötilavaatimuksena taas kohteissa on $+21\text{ °C}$. Kosteus- ja lämpötilavaatimus on sama jokaiselle tilalle, missä soittimia yleisesti käsitellään. Kostutusmuotoina ovat sumutus- sekä haihdutuskostutus. Sumutuskostutus on toteutettu ultraäänikostuttimilla ja haihdutuskostutus kennokostuttimilla. [10.]

Ilmastointikoneita on useita ja ne on jaettu tilakohtaisesti. Kierrätysilmaa rakennuksissa on mahdollista käyttää ja sitä käytetään enemmän käyttöajan ulkopuolella sekä kovemmissa pakkasilla, mikäli tarvitaan raitisilman lisälämmitystä ja estetään kompo-

nenttien jäätyminen. Ilmastointikoneissa on myös regeneratiiviset lämmönsiirtimet, eli pyörivät lämmönsiirtimet. Näin ollen ne siirtävät myös kosteutta poistoilmasta tuloilmaan. Käyttökokemusten perusteella kyseiset kostutusratkaisut ovat toimineet hyvin noin vuoden tarkkailun perusteella T-talossa ja noin 3-4 kuukauden tarkkailun perusteella N-talossa. [10.]

4.4 Tampere-talo

Tampere-talo sijaitsee Tampereella Yliopistonkadulla. Talo on valmistunut vuonna 1990 ja siellä toimii muun muassa Tampereen Ooppera ja Tampereen Filharmonia. Lisäksi talossa järjestetään erilaisia messutapahtumia ja konsertteja. Talossa on useita konsertteihin soveltuvia saleja, suurimpina näistä Iso sali sekä Pieni sali. [11.]

Iso sali on konserttisali, johon mahtuu yleisöä yhteensä 1835 henkilöä, 1155 henkilöä permannolle ja 680 henkilöä parvekkeelle. Kosteusvaatimuksena saliin on pidetty yli 40 % suhteellista kosteutta koko saliin. Sama kosteusvaatimus on myös muille tiloille, joissa soittimia käsitellään, kuten muihin saleihin ja soitinvarastoihin. Lämpötila taas pyritään pitämään +21 °C:ssa. Salin ilmanvaihto on jaettu kolmeen lohkoon siten, että näyttämö on erikseen yhtenä lohkona ja katsomotila kahdessa lohkossa. [11.]

Salissa on melko korkea käyttöaste, sillä orkesteri Tampereen Filharmonia harjoittelee tilassa päivittäin. Salin ilmanvaihtoa käytetään hiilidioksidipitoisuuksien mittausten perusteella, eli teho määräytyy aina tarpeen mukaan. Isossa salissa käytetään myös kierrätysilmaa aika ajoin. Ison salin ilmastointikoneissa käytetään nestekiertoista glykoli-pohjaista lämmöntalteenottoa. [11.]

Tampere-talon muut pienemmät ilmastointikoneet on osittain uusittu. Vanhemmissa koneissa lämmöntalteenottona käytetään nestekiertoista glykoli-lämmöntalteenottoa. Uusituissa koneissa lämmöntalteenottotapana on regeneratiivinen lämmöntalteenotto, eli pyörivä lämmöntalteenotto. Tämä mahdollistaa myös kosteuden siirtämisen poistoilmasta tuloilmaan. Ilmastointikoneita on uusittu Tampere-talossa asteittain ja myös suurempien koneiden saneeraus on tulossa ajankohtaiseksi. [11.]

Kostutusmenetelmänä talon kaikissa saleissa on haihdutuskostutus eli kennokostutus. Käyttökokemusten mukaan kennokostutus on toiminut hyvin, myös vanhemmissa koneissa, jotka ovat 80-luvun lopun tekniikalla toteutettu. Kennokostuttimet vaativat huolellista sekä säännöllistä huoltoa. Myös kennon veden juoksutus tulee olla tarkkaan säädetty. Riittävä huolto takaa sen, että sisäilman laatu pysyy hyvänä ja kostuttimessa ei pääse syntymään epäpuhtauksia. Kokonaisuudessaan Tampere-talossa on säädöissä ja huolloissa onnistuttu hyvin ja näin ollen kostutusmenetelmä on toiminut halutusti. Tampere-talossa käytetään myös kuivatusta, sillä vuoden kosteimpaan aikaan suhteellinen kosteus saattaa nousta 90 % lukemiin, joka on liian korkea soittimien kunnossapidon kannalta. [11.]

Tampere-talossa on myös muita tiloja, joissa soittimia käsitellään, kuten soitinvarastot. Nämä pienemmät tilat ovat kostutettu tilakohtaisella kostutuksella huoneissa sijaitsevilla pienillä höyrykostuttimilla. Lisäksi arvokkaiden sellojen, bassojen ja vastaavien soittimien koteloissa on myös kosteusmittarit, jotta kosteus saadaan pidettyä tarpeeksi suurena ja tasaisena ja soittimia suojeltua. Kostuttimet ovat olleet kokemusten mukaan toimivia laitteita, mutta myös ne vaativat säännöllistä ja hyvää huoltoa. Veden melko korkeat kalkkipitoisuudet aiheuttavat sen, että vettä keitetessä syntyy niin sanottua kattilakiveä ja se vaatii puhdistusta ja huoltoa säännöllisin väliajoin. [11.]

4.5 Suomen Kansallisooppera

Suomen Kansallisooppera sijaitsee Helsingissä Helsinginkadulla Töölönlahden läheisyydessä. Se on vuonna 1993 valmistunut oopperatalo. Oopperatalossa toimii myös ammattilaisorkesteri Suomen Kansallisoopperan orkesteri. Rakennuksessa on kaksi isompaa konserttisalia, pääsali sekä Alminsali.

Oopperatalon pääsalissa on istumapaikkoja 1350 katsojalle. Päänäyttämön koko on 500 m² ja näyttämötornin korkeus 28 m. Kosteuden vaatimuksena salissa on 45 % näyttämölle ja noin 40 % orkesterimonttuun ja katsomoon. Orkesterimonttua ja katsomoa yritetään pitää lähempänä 40 %, mutta vaihteluvälinä on 35 - 40 %. Lämpötilana salissa pyritään pitämään + 21 °C. Pääsalin ilmanvaihto on toteutettu kolmella il-

mastointikoneella, joista yksi palvelee pelkästään näyttämöä ja kaksi palvelee katsomoa ja orkesterimonttua. [12.]

Salin ilmanvaihtoa käytetään päiväsaikaan siten, että näyttämön kone käy aina täydellä teholla. Katsomon koneita taas käytetään päiväsaikaan osateholla, sillä kun salissa ei ole konsertteja, se ei vaadi niin paljoa ilmapvirtaa. Salissa käytetään kierrätysilmaa, ja se säätyy automatiikalla. Näin ollen myös hieman kosteutta saadaan siirrettyä poistoilmasta tuloilmaan. Salin ilmastointikoneissa on käytössä nestekiertoinen glykoli-lämmöntalteenotto. [12.]

Kostutusmenetelmänä Suomen Kansallisoopperassa on haihdutuskostutus eli kenno-kostutus. Kokemusten mukaan kyseinen kostutusmenetelmä on ollut aika ajoin haastava, sillä siinä on ilmennyt pieniä ongelmia, kuten kostutusaltaan vuotoa. Hyvänä puolena on kostutuksen säädettävyys, joka on tehty ohitussäädöllä. Ohitussäädössä saadaan sulkupeltien ja ohivirtauksen avulla sekoitettua kostutettua ja kostuttamatonta ilmaa keskenään ja näin ollen säädettyä ilman kosteutta tarkasti ja portaattomasti. [12.]

Pienempi Alminsali on enemmän harjoitus- ja balettisali, joten siellä ei käsitellä musiikki-instrumentteja niin paljoa kuin pääsalissa. Näin ollen Alminsalissa pyritään pitämään hiukan pienempää kosteusvaatimusta kuin pääsalissa, noin 35 % luokkaa. Lämpötilana taas pyritään pitämään samaa +21 °C:ta kuin pääsalissa. Alminsalin katsomoihin mahtuu 200-500 katsojaa. Alminsalia palvelee kaksi ilmastointikonetta, ja niiden kostutusmenetelminä ovat myös kennokostuttimet. Ilmastointikoneissa on myös pyörivät lämmöntalteenotot, joten ne siirtävät myös kosteutta poistoilmasta tuloilmaan. Oopperatalossa on myös pienempiä tiloja, kuten harjoitushuoneita, joissa pyritään pitämään sama kosteustaso kuin pääsalin orkesterimontussa, eli lähellä 40 prosenttia. [12.]

Oopperataloon on myös tulossa ilmastointikoneiden saneerausta lähiaikoina, jolloin koneita uusitaan. Nyt kostutusmenetelmä oleva kennokostutus tullaan ottamaan käyttöön myös uusissa koneissa. Uusia kostuttimia ei tulla säätämään ohitussäädöllä, vaan säätämällä magneettiventtiileillä veden virtausta kostuttimeen. Pääsalia tullaan ajamaan neljällä ilmastointikoneella ja samalla uusiin ilmastointikoneisiin vaihdetaan

pyörivä lämmöntalteenotto. Alminsalin koneet ovat jo hiljattain uusittu ja lämmöntalteenottotavat vaihdettu pyörivään lämmöntalteenottoon. [12.]

Kokemusten mukaan myös oopperatalossa olisi hyvä olla kostutuksen lisäksi kuivatus. Loppukesästä ja alkusyksystä ilman kosteus nousee liian suureksi, ja se tuottaa hieman ongelmia musiikki-instrumenttien kunnossapidon osalta. [12.]

4.6 Yhteenveto tarkastelluista tiloista

Taulukossa 1 on yhteenvetona tietoja käsitellyistä tiloista, joista ilmenee valmistumisvuosi, salin kapasiteetti, suhteellisen kosteuden vaatimus ja lämpötilavaatimus, kostutusmenetelmä, IV-koneiden määrä ja LTO-tyyppi.

TAULUKKO 1. Yhteenveto tarkastelluista tiloista salien osalta

Yhteenveto tarkastelluista tiloista salien osalta							
Rakennus	Valmistumisvuosi	Yleisökapasiteetti (hlö)	RH % vaatimus	Lämpötilavaatimus (°C)	Kostutusmenetelmä	IV-koneet	LTO
Lahden Sibeliustalo	2000	1100	45	20-22	Kenno	1	Glykoli
Helsingin Musiikkitalo	2011	1704	42	20-22	Höyry/sumutus	3	Pyörivä
Sibelius-Akatemia (ei salia)	Saneeraus 2013-14	<100	30	21	Sumutus/kenno	Useita	Pyörivä
Tampere-talo	1990	1835	40	21	Kenno	3	Glykoli
Kansallisooppera	1993	1350	40-45	21	Kenno	3	Glykoli

Yhteenvetona tiloista voidaan huomata, että saleissa sekä lämpötila- että kosteusvaatimus ovat kaikki samaa luokkaa, paitsi Sibelius-Akatemiassa, jossa ei suurempaa salia ole. Vanhemmissa kohteissa käytössä on nestekiertoinen glykoli-lämmöntalteenotto, mutta uudemmissa taas pyörivä lämmöntalteenotto. Lisäksi esimerkiksi Tampere-talossa tulevan saneerauksen yhteydessä on tarkoitus vaihtaa lämmöntalteenottotavaksi pyörivä lämmöntalteenotto. Kostutusmenetelmänä kenno on yleisin ja todettu toimivaksi ratkaisuksi. Myös höyrykostutusta ja sumutuskostutusta löytyy Helsingistä Musiikkitalosta ja Sibelius-Akatemiasta. Höyrykostutusta käytettiin myös pienemmissä tiloissa muissakin rakennuksissa.

Yleisesti ottaen tiedustelun pohjalta hyvä ratkaisu olisi 42 % suhteellista kosteutta ja +21 °C lämpötilavaatimuksella oleva sali, jossa on kenno- ja/tai höyrykostutus ja varsinakin lisänä pyörivä lämmöntalteenotto.

5 KOHTEEN ESITTELY

Kuopion Musiikkikeskus sijaitsee Kuopion keskustan läheisyydessä, Kuopionlahdenkatu 23:ssa. Se on konsertti- ja kongressikeskus, joka on valmistunut elokuussa 1985. Talon tiloissa järjestetään musiikkitapahtumien lisäksi kansainvälisiä ja valtakunnallisia kokouksia, kongresseja ja niihin liittyviä näyttelyitä, koulutustilaisuuksia sekä muita lukuisia tapahtumia. Rakennus toimii myös Sibelius-Akatemian tiloina ja talossa opiskelee tulevia musiikin ja tanssin ammattilaisia. Musiikkikeskuksessa järjestetään vuosittain noin 300 tapahtumaa ja kävijämäärät vaihtelevat 100000 - 150000 kävijän välillä. Rakennuksen bruttopinta-ala on 11986 m² ja tilavuus 51500 m³.

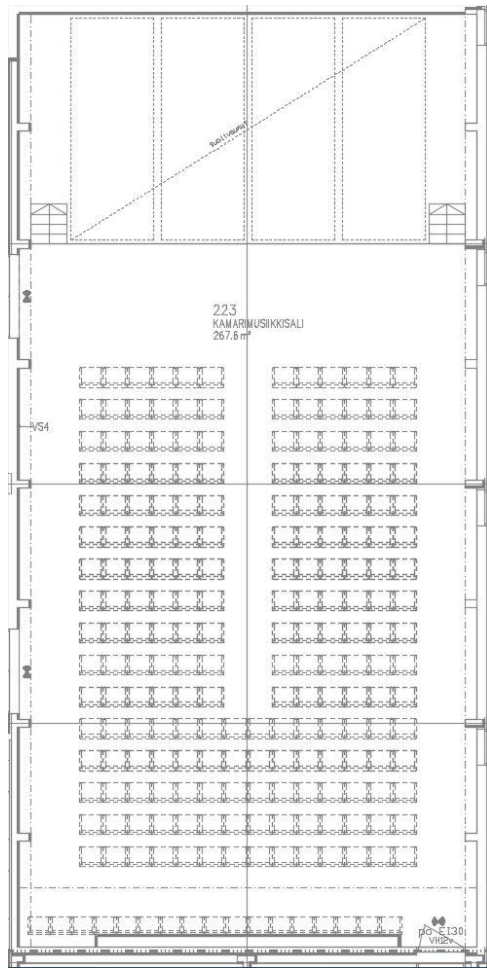
5.1 Nykytilanne

Kuopion Musiikkikeskukseen ollaan uusimassa ilmastointikoneistoa. Koneiden uusimiset suoritetaan vuosien 2016 - 2018 aikana. Uusimiset suoritetaan kesäaikana siten, että keskuksen normaalitoiminta ei häiriinny. Koneiden uusiminen, muun muassa vanhojen koneiden purkaminen ja uusien asentaminen pyritään suorittamaan rakenteita rikkomatta. Uudet koneet ovat tarvittaessa niin sanottuja saneerausmalleja, eli ne kootaan osissa paikan päällä.

Koneiden uusimisessa otetaan huomioon olosuhdevaatimukset, kuten kosteus ja lämpötila, lämmöntalteenoton lisäykset, nykyiset energiatehokkuusvaatimukset, ilmamäärien mitoittamiseen nykyinen tilojen käyttö ja sisäilmaluokka minimissään S2 [13]. Konehuoneen ulkopuolella ei siis tehdä pääsääntöisesti kanavamuutoksia lukuun ottamatta sisäilman laatuun vaikuttavia päätelaitteiden uusimisia sekä villapintaisten eristeiden poistamista.

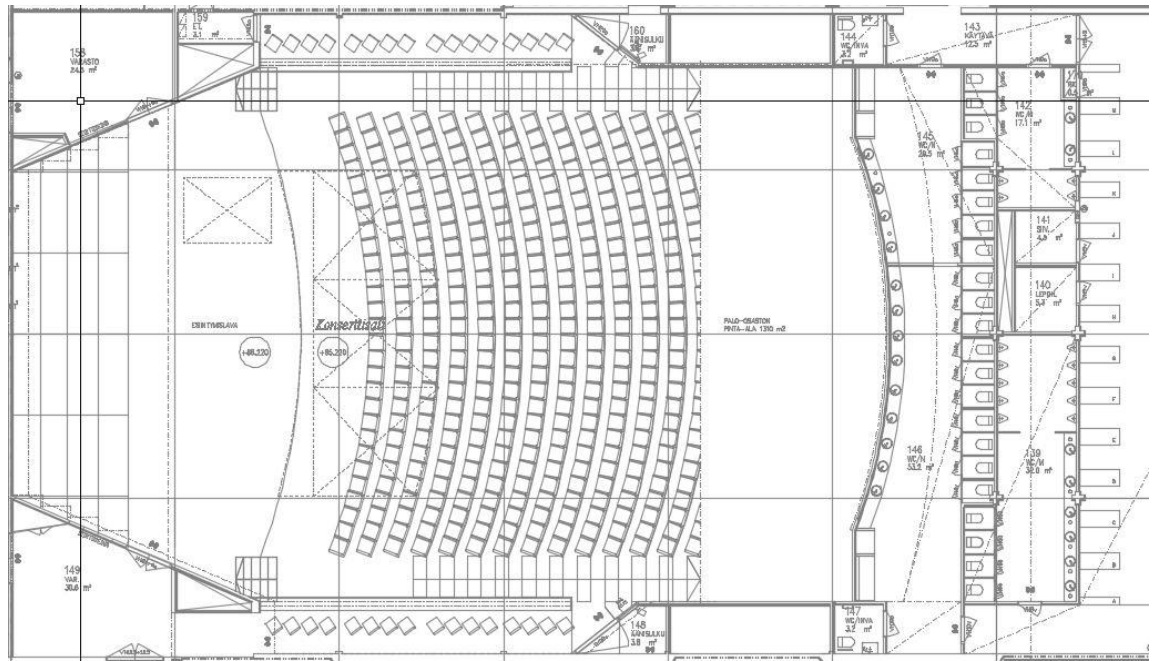
Tällä hetkellä kostutus löytyy osassa ilmastointikoneita. Kostutettava ilmamäärä rakennuksessa on noin 20 m³/s. Kostutettavat tilat ovat lähinnä tiloja, joissa käsitellään musiikkisoittimia. Suurimpia kostutettavia tiloja ovat kamarimusiikkisali sekä kon-

serttisali. Kamarimusiikkisalissa on istumapaikkoja 240 henkilölle ja sen pohjakuva on esitetty kuvassa 1. Konserttisali on Musiikkikeskuksen pääsali, ja siinä on istumapaikkoja 1064 henkilölle, 750 henkilöä permannelle ja 314 henkilöä parvelle. Konserttisalin pohjakuva on esitetty kuvassa 2. Lisäksi rakennuksesta löytyy useita luokahuoneita, huoltotiloja ja vastaavia tiloja, joissa vaaditaan kostutusta.



KUVA 1. Kamarimusiikkisalilin pohjakuva

Kamarimusiikkisalilin kokonaisilmavirta on täysteholla 2,03 m³/s.



KUVA 2. Konserttitalin pohjakuva

Konserttitalin kokonaisilmavirta on täysteholla 8,24 m³/s.

Nykyinen kostutusmenetelmä on koneiden yhteydessä olevat kennokostuttimet eli haihdutuskostuttimet. Nykytilanteessa ilmastointikoneiden automaatiolla on suhteellinen kosteus asetettu pysymään 34 - 40 % välillä rakennuksen kostutettavissa tiloissa. Nykyisessä ratkaisussa ei ole käytössä myöskään lämmöntalteenottoa.

5.2 Käyttöajat

Tällä hetkellä Musiikkikeskuksen kamarimusiikkitalin ilmanvaihtoa käytetään taulukon 2 mukaisilla käyntiajoilla.

TAULUKKO 2. Kamarimusiikkitalin ilmanvaihdon käyntiajat

Kamarimusiikkitalin ilmanvaihdon käyntiajat:		
Päivä	Kellonaika	Puhaltimen pyörimisnopeus (%)
ma - pe	8.00-11.00	50 % teho
ma - pe	11.00-22.00	100 % teho
la - su	06.00-08.00	50 % teho
la - su	8.00-18.00	100 % teho

Taulukosta nähdään, että keskimäärin konetta käytetään viikossa 50 % teholla 19 tuntia ja 100 % teholla 79 tuntia. Kuukausitasolla nämä käyntiajat ovat keskimäärin 76 tuntia 50 % teholla ja 316 tuntia täydellä teholla. Käyttöaikojen ulkopuolella ilmastointikone ei ole käytössä. Kamarimusiikkisalissa käytetään kierrätysilmaa normaalikäytössä 70 % ja aktiivikäytössä konserttien aikaan 30 %. Taulukon 1 käyntiaikoihin ei ole huomioitu mahdollisia konsertteja, jotka vaikuttavat osaltaan käyntiaikoihin ja koneen tehoon.

Konserttisalin ilmanvaihtoa käytetään taulukon 3 mukaisilla käyntiajoilla.

TAULUKKO 3. Konserttisalin ilmanvaihdon käyntiajat

Musiikkikeskuksen konserttisalin ilmanvaihdon käyntiajat:		
Päivä	Kellonaika	Puhaltimen pyörimisnopeus (%)
ma - pe	5.00-10.00	50 % teho
ma - pe	10.00-22.00	100 % teho
la - su	06.00-13.00	50 % teho
la	13.00-24.00	100 % teho
su	13.00-22.00	100 % teho

Taulukosta nähdään, että konserttisalin IV-kone käy viikossa 50 % teholla 39 tuntia ja 100 % teholla 80 tuntia. Kuukausitasolla käyntiajat ovat siis keskimäärin 50 % teholla 156 tuntia ja 100 % teholla 320 tuntia. Varsinkin konserttisalin ilmanvaihto elää melko paljon useiden konserttien johdosta. Taulukossa 2 esitetyt arvot ovat keskimääräisiä käyttöaikoja ja eivät kerro koko totuutta todellisista käyntiajoista. Käyntiaikojen ulkopuolella ilmastointikone ei ole käytössä. Kierrätysilmaa konserttisalissa käytetään normaalikäytössä 70 % ja aktiivikäytössä konserttien aikaan 40 %.

5.3 Tarkasteltavat kostutusratkaisut

Tulevassa saneerauksessa pyritään tilaajan toiveiden mukaisesti kostutuksen osalta tähtäämään 42 % suhteellista kosteutta. Lämpötilavaatimukseksi kostutettaviin tiloihin asetetaan +21 °C:sta. Musiikkikeskuksen tarkasteltaviksi ratkaisuiksi valittiin höyrykostutus sekä kennokostutus. Nämä kostutusmenetelmät olivat monissa tiedustelluissa paikoissa käytössä (taulukko 1) ja todettu myös toimiviksi ratkaisuiksi. Höyrykostutus

on vaihtoehtoista hygieenisin ratkaisu, mutta se vie oletettavasti enemmän energiaa kuin kennokostutus, joten näitä vaihtoehtoja on hyvä tarkastella tilakohtaisesti. Lisäksi jokaisessa tarkasteltavassa kostutusratkaisussa otetaan myös huomioon kosteutta siirtävä hygroskooppinen regeneratiivinen lämmöntalteenotto ja sen vaikutus energiankulutuksiin. Sen käyttö kohdassa 4 käsitellyissä tiedustelluissa konserttitiloissa on niin yleistä ja kehuttua, että se kannattaa ottaa kokemusten perusteella käyttöön myös Kuopion Musiikkikeskuksessa.

6 KOSTUTUKSEN ENERGIA-, INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LASKENTA

Kostutuksen tarve ja energiankulutus rakennuksessa muuttuu vuoden mittaan jatkuvasti. Tämä johtuu ulkoilman lämpötilan ja kosteuden jatkuvista muutoksista. Talviaikaan ulkoilma on kuivempaa ja tällöin kostutustarve suurimmillaan. Kesäaikaan taas kostutusta ei tarvita välttämättä ollenkaan, ja tällöin rakennuksessa on lähinnä kuivaus- ja jäähdytystarvetta. Kostutustarve Kuopiossa keskittyy lähinnä loka-toukokuulle perustuen 5 vuoden keskimääräisiin lämpötiloihin ja kosteuksiin [14]. Myös konserttien määrä vaikuttaa energiankulutukseen suuresti, sillä tällöin ilmanvaihto käy täydellä teholla ja puhaltaa mahdollisimman paljon raitista ilmaa.

Kostutusmäärä tilaan riippuu ilman massavirrasta, kostutettavan tilan kosteusmäärästä, ulkoilman kosteusmäärästä sekä kostutettavan ilman tiheydestä. Tilan haluttu kosteusmäärä tulee määritellä ennen laskentaa Mollier-diagrammilta (liite 1), esimerkiksi Musiikkikeskukseen haluttu sisäilman olosuhde on +21 °C ja 42 % suhteellista kosteutta, joten tässä pisteessä sisäilman absoluuttinen kosteus on noin 6,5 g/kg k.i. (kuivaa ilmaa). Ulkoilman kosteusmäärä saadaan mitattua tai se voidaan selvittää erinäisistä tilastoiduista mittaustuloksista, kuten Wundergroundin verkkosivuilta [14]. Kostutettavan ilman massavirta saadaan laskettua kaavalla 1:

$$q_m = q_v * \rho_i \tag{1}$$

jossa:

q_v = ilman tilavuusvirta (m^3/s)

ρ_i = ilman tiheys tietyssä lämpötilassa (kg/m^3)

Näiden tietojen avulla pystytään laskemaan tarvittava kostutusmäärä tilaan kaavalla 2 [7]:

$$q_{\text{vesi}} = q_m * \Delta x_{UT} \quad (2)$$

jossa:

Δx_{UT} = sisäilman ja ulkoilman absoluuttisen kosteuden erotus (g/kg)

6.1 Höyrykostuttimen energiankulutuksen laskenta

Höyrykostutin ei vaadi ylimääräistä ilmavirran lämmitystä, sillä höyry jo itsessään lämmittää ilmaa hieman kostuttimessa. Höyry suihkutetaan ilmaan $+100\text{ °C}$ lämpötilassa, joten se aiheuttaa pienen nousun ilman lämpötilassa. Veden höyrystyminen höyrykostuttimissa toteutetaan yleisesti sähköllä. Höyrystimen energiantarve voidaan laskea höyrystimen jälkeisen ilman entalpien ja ennen höyrystintä olevan ilman entalpien erotuksella. Energiantarpeeseen kuuluu olennaisesti myös massavirta. Höyrykostuttimen teho voidaan laskea kaavalla 3:

$$\phi_H = q_m * \Delta h \quad (3)$$

jossa:

Δh = sisäilman entalpien sekä höyrystimeen tulevan ilman entalpien erotus. (kJ/kg)

Energiankulutus kilowattitunteina voidaan laskea höyrykostuttimen teholla ja käyntiajoilla kaavalla 4:

$$E_H = \phi_H * t \quad (4)$$

jossa:

t = höyrykostuttimen käyntiaika (h)

6.2 Kennokostuttimen energiankulutuksen laskenta

Kennokostuttimen energiankulutus muodostuu lähinnä ilman lisälämmityksestä ja kanaviston painehäviöstä. Lisäksi kostuttimen kiertovesipumppu vie sähkötehoa, mutta sen energiankulutus on melko vähäinen. Kiertovesipumpun virtaama voidaan laskea ilman massavirran sekä ennen kostutinta ja kostuttimen jälkeisten absoluuttisten kosteuksien avulla kaavalla 5.

$$q_{pumppu} = q_m * \Delta x \quad (5)$$

jossa:

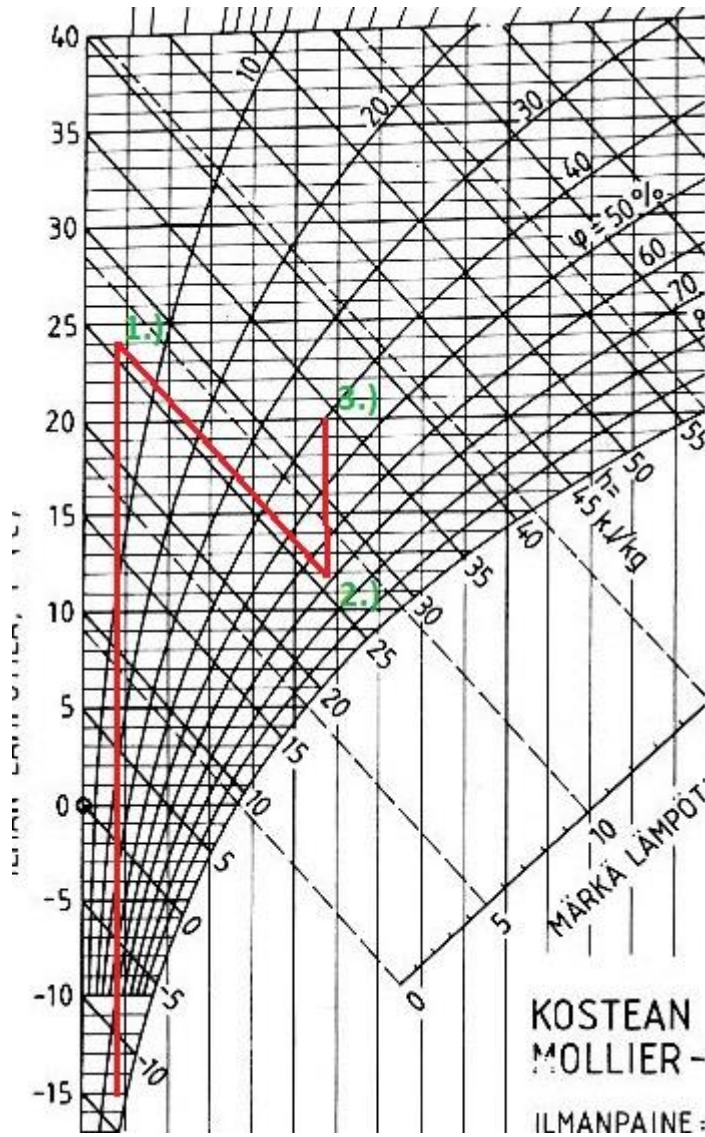
q_{pumppu} = kiertovesipumpun virtaama (dm^3/s)

q_m = ilman massavirta (kg/s)

Δx = absoluuttisten kosteuksien erotus ennen kostutinta ja kostuttimen jälkeen

Kennokostutin vaatii aina lisälämmitystä, sillä kennokostuttimessa ilma viilenee. Ilma viilenee, koska vesi haihtuu kennoilta ilmaan ja veden höyrystymiseen vaadittava energia otetaan ilmasta.

Kuvassa 3 on havainnollistettu kennokostuttimen prosessin käyttäytyminen. Esimerkissä on havainnollistettu $-15\text{ °C} / 80\%$ ulkoilman prosessointi $+20\text{ °C} / 40\%$ sisäilmaksi kostuttimen ja lämmityspattereiden avulla.



KUVA 3. Kennokostutuksen prosessi Mollier-diagrammissa

Kuvassa piste 1 on ilman tila esilämmityspatterin jälkeen. Piste 2 on tila kostuttimen jälkeen ja piste 3 on ilman tila jälkilämmityspatterin jälkeen. Kuvasta voidaan nähdä, että kennokostuttimessa lämpötilan pudotus on noin 12 °C tässä tilanteessa. Tämän lämpötilaerotuksen avulla voidaan laskea kennokostuttimen lisälämmityksen energiantarve kaavalla 6:

$$\phi_{\text{Lisälämm.}} = q_v * \rho_i * c_{pi} * \Delta t \quad (6)$$

jossa:

q_v = ilman tilavuusvirta (m^3/s)

ρ_i = ilman tiheys (kg/m^3)

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)

Δt = lämpötilan pudotus kostuttimessa ($^\circ\text{C}$)

Kennokostuttimen kanavistoon tuoma painehäviö ja siitä johtuva lisäenergian kulutus otetaan huomioon Fläkt Woodsin Acon-ohjelmiston simuloinnissa. Acon-ohjelmisto on ilmastointikoneen valitsemistyökalu, jolla voidaan luoda halutunlaisia Fläkt Woodsin ilmastointikoneita ja siihen voi lisätä eri komponentteja, kuten kostuttimia. [15.]

6.3 Lämmöntalteenoton vaikutus

Tulevassa ilmastointikoneiden saneerauksessa tullaan uusissa koneissa käyttämään hygroskooppista regeneratiivista lämmöntalteenottoa. Tämä lämmöntalteenottotapa siirtää lämmön lisäksi kosteutta tehokkaasti varsinkin talvikuukausina. Tämä taas vähentää kostutuksen energiankulutusta tehokkaasti niin kennokostutuksessa kuin höyrykostutuksessa. Lämmöntalteenoton jälkeen lämmityksen ja kostutuksen tarve on huomattavasti vähäisempi. Eri lämmöntalteenottolaitteilla on erilaiset kosteudensiirtohyötysuhteet ja lämpötilahyötysuhteet, esimerkiksi Fläkt Woodsin REGOTERM SEMCO hygroskooppisessa roottorissa kosteushyötysuhde on kamarimusiikkisalin 2 m^3/s IV-koneelle 77 - 80 % luokkaa ja lämpötilahyötysuhde noin 79 %. Hyötysuhteet vaihtelevat ulkoilman lämpötilan ja kosteuden mukaan. Ilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen voidaan laskea kaavalla 7:

$$t_{LTO} = t_u + \eta_{LTO}(t_p - t_u) \quad (7)$$

jossa:

t_{LTO} = ilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen ($^\circ\text{C}$)

t_u = ulkoilman lämpötila ($^\circ\text{C}$)

η_{LTO} = lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde

t_p = poistoilman lämpötila ($^\circ\text{C}$)

Lämmöntalteenoton jälkeinen kosteus määrä voidaan laskea ilman absoluuttisten kosteuksien avulla kaavalla 8:

$$x_{LTO} = x_u + \eta_{LTO}(x_p - x_u) \quad (8)$$

jossa:

x_{LTO} = lämmöntalteenoton jälkeinen absoluuttinen kosteus (g/kg)

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus (g/kg)

η_{LTO} = lämmöntalteenoton kosteushyötysuhde

x_p = poistoilman absoluuttinen kosteus (g/kg)

6.4 Kustannukset

Kostuttimien kustannuksia tarkastellaan energiakustannusten ja investointikustannusten näkökulmasta. Höyrykostutuksessa lasketaan sähkökustannusten määrä höyrykostuttimen tehosta riippuen. Kennokostutuksessa taas lasketaan lisälämmityksen kustannuksen määrä sekä kostuttimesta johtuvasta painehäviöstä tulevan lisätehon sähkökustannuksen määrä puhaltimelle. Myös kennokostuttimen kiertovesipumpun teho ja kennokostuttimen kuluttama vesimäärä lasketaan kokonaiskustannuksiin. Lisäksi molemmista kostutintyypeistä pyydettiin tarjoukset tilakohtaisesti ja laskettiin asennuskustannusarviot kostuttimille.

Höyrykostuttimen sähkökustannukset saadaan laskettua kostuttimen kokonaisenergiankulutuksen sekä sähkön hinnan avulla. Myös vedenkulutus otetaan huomioon höyrykostuttimen kokonaiskustannuksia laskettaessa.

Kuopion Energian yleissähkön myyntihinta on 6,70 snt/kWh, siirtohinta 2,82 snt/kWh ja perusmaksu 2,22 €/kk. Sähkön kokonaishinta koostuu näiden kolmen summasta. Hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %. [16.]

Kaukolämpöä tarvitaan kostutuksen kustannuslaskelmissa kennokostuttimen jälkeiseen lisälämmitykseen. Kuopion Energian kaukolämmön hinta on 62,10 €/MWh (sis. ALV 24 %), eli 0,00621€/kWh. Kaukolämpöön sisältyy myös perusmaksu, joka lasketaan Kuopion Energian www-sivujen mukaan tilausvesivirran ja taulukosta 4 löytyvän kaavan 9 avulla. [17.] Tilausvesivirta on Kuopion Musiikkikeskuksessa 7,6 m³/h.

TAULUKKO 4. Kaukolämmön perusmaksun laskentakaavat

V (m ³ /h)	Vastaava teho kW	€/vuosi (alv 0%)
alle 0,8	alle 47	K (40+990*V)
0,8 - 2	47 - 116	K (70+960*V)
2,2 - 7,6	116 - 465	K (960+500*V)
8,0-	yli 465	K (2970+250*V)
		kerroin K=1,8

(9)

Tällä kaavalla laskettuna perusmaksuksi saatiin 8604 € (ALV 0 %) vuodessa, eli 10689 € (ALV 24 %) vuodessa. Musiikkitalossa on mitattu kolmen viime vuoden ajalta (2012 – 2014) kaukolämmön kulutukseksi 2012 1073,3 MWh, 2013 1119,7 MWh ja 2014 1307,4 MWh. Näistä saatiin kolmen viime vuoden keskimulutukseksi 1166,8 MWh. Näin ollen kaavalla 10 voidaan laskea perusmaksun osuus per megawattitunti vuositasolla.

$$\text{Perusmaksun osuus} = \frac{\text{kulutus vuodessa}}{\text{perusmaksu}} = \frac{1166,8 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}}{10689 \frac{\text{€}}{\text{a}}} = 0,109 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \quad (10)$$

Kaukolämmön kokonaiskustannukseksi tulee siis 0,0621 €/kWh + 0,000109 €/kWh=0,06221 €/kWh.

Kuopion Vesi kertoo vesijohtoveden hinnaksi 0,4 snt/litra, johon sisältyy vesi toimitettuna, jäteveden viemärointi ja puhdistus [18]. Veden kulutukselle kennokostuttimen laskettiin vain teoreettinen veden kulutus, eikä huomioitu mahdollista ylijoukustusta.

Kennokostuttimen kokonaiskäyttökustannukset koostuvat siis kolmesta eri kustannuksesta: sähköstä, vedestä ja kaukolämmöstä. Sähkön osuus saadaan laskettua puhaltimen paineenkorotuksesta johtuvasta lisätehosta ja kiertovesipumpun tehosta sähkön hinnan avulla. Veden osuus saadaan laskettua kostuttimen vedenkulutuksen ja veden hinnan avulla. Kaukolämmön osuus taas lasketaan kustutuksen lisälämmityksen ja kaukolämmön hinnan avulla.

Asennuskustannuksien tuntihintana käytettiin LVI-, sähkö- ja automaatiotöille arvioituna 50 €/h. Asennusajat saatiin maahantuojan arviona höyrykostuttimelle 2 työpäivää (16h), josta kanavaan asennukseen kuluu noin 2 tuntia. Kennokostuttimelle asennusajaksi maahantuoja arvioi 3 työpäivää (24 h), josta 1 työpäivä kuluu kanavaan asen-

nukseen. Vesiliitännöille ja viemäröinneille voidaan arvioida asennusajaksi höyry- ja kennokostuttimelle noin 3 tuntia. Loput asennusajoista menevät sähkösyötöille ja automaatiolle, eli noin 11 tuntia höyrykostuttimelle ja kennokostuttimelle.

Asennuskustannukset laskettiin oletuksella, että tarvittavat sähkösyötöt ja vesi- ja viemäriiliitännät kaapelointien ja putkitusten osalta löytyvät konehuoneesta ja niitä ei tarvitse erikseen vetää pidemmältä matkalta. Asennuskustannukset nousevat ilmeisen paljon, mikäli esimerkiksi sähkösyöttö täytyy vetää jostain kauempaa kuin konehuoneesta. Taulukossa 5 on esitetty asennuskustannusarviot höyry- ja kennokostuttimelle.

TAULUKKO 5. Höyry- ja kennokostuttimen asennuskustannusarviot

Höyrykostuttimen asennuskustannukset			
	IV-asennus	Sähkö- ja automaatio	Putkiasennukset
Tuntia	2	11	3
Keskipalkka (€/h)	50	50	50
Yhteensä:	100	550	150
Kokonaiskustannus (€):	800		
Kennokostuttimen asennuskustannukset			
	IV-asennus	Sähkö- ja automaatio	Putkiasennukset
Tuntia	8	11	3
€/h	50	50	50
Yhteensä:	400	550	150
Kokonaiskustannus (€) :	1100		

6.5 Sääolosuhteet Kuopiossa

Kuopion sääolosuhteet saatiin säätietoja tallentavalta Wundergroundin verkkosivulta [14]. Sivuilta saatiin päivittäiset suhteelliset kosteudet sekä lämpötilat usean vuoden ajalta. Näiden avulla pystyttiin laskemaan keskilämpötilat ja keskimääräiset suhteelliset kosteudet. Tarkasteluajaksi valittiin 5 vuotta väliltä 2010 – 2014. Taulukossa 6 on kuvattu kuukausittaiset keskilämpötilat ja keskimääräiset kosteudet tältä ajalta:

TAULUKKO 6. Keskimääräiset kuukausittaiset kosteudet ja lämpötilat Kuopiossa vuosina 2010 - 2014

Keskimääräiset kuukausittaiset kosteudet ja lämpötilat Kuopiossa (2010-2014)			
Kuukausi	Suht.kost (%)	Keskim. L-tila (°C)	Abs. Kost (g/kg)
Tammikuu	90,7	-11,2	1,46
Helmikuu	89,6	-9,8	1,61
Maaliskuu	78,3	-4,6	2,1
Huhtikuu	71,1	2,6	3,24
Toukokuu	64,6	10	4,92
Kesäkuu	67,2	14,6	6,95
Heinäkuu	70	19,2	9,74
Elokuu	75,9	16	8,62
Syyskuu	84	10,6	6,68
Lokakuu	87,3	3,6	4,28
Marraskuu	91,5	-0,6	3,32
Joulukuu	90,7	-6,8	2,1

Absoluuttiset kosteudet määriteltiin tarkasti Vaisalan kosteuslaskurin avulla [19]. Kosteuslaskurilla pystyy syöttämään tietyn lämpötilan ja suhteellisen kosteuden ja laskuri laskee automaattisesti absoluuttisen kosteuden, tiheyden ja muita hyödynnettäviä arvoja. Musiikkikeskuksen sisälämpötilana on + 21 °C ja suhteellisena kosteutena 42 %. Tällöin absoluuttinen kosteus on noin 6,5 g/kg k.i. (kuivaa ilmaa). Näin ollen taulukon 2 arvoista pystymme näkemään, että Kuopiossa kostutustarvetta tarvitsee keskimäärin vain lokakuusta toukokuuhun, joten kostutustarvetta ei keskimäärin ole kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa jolloin ulkoilman absoluuttinen kosteus on yli 6,5 g/kg k.i.

Kuopio kuuluu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan säävyöhykkeeseen III. Tällöin mitoittava ulkoilman lämpötila on -32 °C. [20.]

7 KOSTUTUSMENETELMÄT JA TULOKSET TILAKOHTAISESTI

7.1 Kamarimusiikkisali

Kamarimusiikkisaliin päätettiin tilaajan toiveiden mukaisesti tarkastella kahta vaihtoehtoa: höyrykostutusta ja kennokostutusta. Lisäksi päätettiin ottaa käyttöön myös hyg-

roskooppinen regeneratiivinen lämmöntalteenotto, jotta energiankulutus laskisi, Lämmöntalteenottolaitteeksi valittiin Fläkt Woodsin REGOTERM SEMCO hygroskooppinen regeneratiivinen pyörivä roottori. Roottorin lämpötilahyötysuhde on noin 79 % ja kosteushyötysuhde 77 - 80 %. Kaikissa laskelmissa käytettiin arvoina kuitenkin varmuuden vuoksi 75 %. Kaikki laskelmat tehtiin taulukon 1 mukaisten käyntiaikojen, sekä taulukon 3 mukaisten keskilämpötilojen ja -kosteuksien mukaan. Sisäilman olosuhteena käytettiin +21 °C lämpötilaa ja 42 % suhteellista kosteutta. Taulukossa 7 on lueteltu lämmöntalteenoton jälkeiset lämpötilat ja absoluuttiset kosteudet kuukausittain.

TAULUKKO 7. Kuukausittaiset kosteudet ja lämpötilat LTO:n jälkeen

Kosteus ja lämpötila LTO:n jälkeen		
Kuukausi	Lämpötila (°C)	Abs. Kosteus (g/kg)
Tammi	13	5,24
Helmi	13,3	5,28
Maalis	14,6	5,4
Huhti	16,4	5,69
Touko	18,3	6,11
Loka	16,7	5,95
Marras	15,6	5,71
Joulu	14,1	5,4

Kamarimusiikkisalın ilmastointikoneen ilmavirta 100 % teholla on nykymitoitustiedon mukaan 2,03 m³/s ja 50 % teholla 1,015 m³/s. Näitä ilmavirtoja käytettiin myös energiankulutuksen laskennassa. Tiheydet ja absoluuttiset kosteudet eri lämpötiloille on määritelty Vaisalan kosteyslaskurilla. [19]

7.1.1 Nykyinen ratkaisu

Kamarimusiikkisalissa ei ole nykytilanteessa lämmöntalteenottoa käytössä ollenkaan. Nykyään LTO:n sijaan käytetään kierrätysilmaa normaalikäytössä siten, että 70 % ilmavirrasta on kierrätysilmaa ja 30 % raitisilmaa. Konserttien aikaan salin ollessa täydempi IV-koneella käytetään 30 % kierrätysilmaa ja 70 % raitisilmaa. Kokonaisilmavirrat ovat täydellä teholla 2,03 m³/s ja puoliteholla 1,015 m³/s ja prosenttiosuudet

on otettu kokonaisilmavirroista. Nykyisen koneen ratkaisulla lasketut energiankulutuslaskennan tulokset ovat esitetty taulukoissa 8 ja 9.

TAULUKKO 8. Nykyinen energiankulutus 100 % tehon käyntiaikana

Nykyiset energiankulutukset 100 % tehon käyntiaikana (316h/kk)			
Kuukausi	Kiertovesipumppu (kWh)	Kostutuksen lisälämmitys (kWh)	Kostuttimesta johtuva paineen korotus puhaltimessa (kWh)
Tammikuu	1,7	2524,7	75,84
Helmikuu	1,7	2442,8	75,84
Maaliskuu	1,7	2196,3	75,84
Huhtikuu	1,7	1870,4	75,84
Toukokuu	1,7	774,2	75,84
Lokakuu	1,7	1167,8	75,84
Marraskuu	1,7	1641,2	75,84
Joulukuu	1,7	2200,1	75,84
Yhteensä	13,4	14817,5	606,72
kWh/a:	15437,6		

TAULUKKO 9. Nykyinen energiankulutus 50 % teholla

Nykyiset energiankulutukset 50 % tehon käyntiaikana (76h/kk)			
Kuukausi	Kiertovesipumppu (kWh)	Kostutuksen lisälämmitys (kWh)	Kostuttimesta johtuva paineen korotus puhaltimessa (kWh)
Tammikuu	0,4	303,6	9,12
Helmikuu	0,4	293,8	9,12
Maaliskuu	0,4	264,1	9,12
Huhtikuu	0,4	224,9	9,12
Toukokuu	0,4	93,1	9,12
Lokakuu	0,4	140,4	9,12
Marraskuu	0,4	197,4	9,12
Joulukuu	0,4	264,6	9,12
Yhteensä	3,2	1781,9	72,96
kWh/a:	1858,0		

Yhteensä energiankulutus on vuodessa siis $15437,6 \text{ kWh} + 1858,0 \text{ kWh} = 17295,6 \text{ kWh} \approx 17,3 \text{ MWh}$. Tässä laskennassa ei ole kuitenkaan huomioitu konserttikäyttöä, jolloin raitisilman osuus on 70 %. Tällöin varsinkin kostutuksen lisälämmityksen tehotarve kasvaa huomattavasti. Taulukoissa 10 ja 11 on laskettu konserttikäytön tehotarpeet. Puhaltimen vaatima 0,24 kW lisäteho pysyy samana.

TAULUKKO 10. Nykyinen tehontarve konserttikäytössä

Kennokostutin konserttikäytössä (raitisilman osuus 70%) 100 % IV-koneen teholla								
Kuukausi	L-tila LTO:n jälkeen (°C)	Abs. Kost. Kierrätysilman jälk. (g/kg)	Kost. Tarve (g/kg)	Tiheys (kg/m³)	Massavirta (kg/s)	Kostutusmäärä (kg/h)	Veden kulutus (l/s)	Kiertovesipumpun teho (kW)
Tammikuu	-1,5	2,97	3,53	1,23	2,50	31,7	0,00881	0,005
Helmikuu	-0,6	3,08	3,42	1,23	2,49	30,7	0,00854	0,005
Maaliskuu	3,1	3,42	3,08	1,22	2,48	27,5	0,00765	0,005
Huhtikuu	8,1	4,22	2,28	1,21	2,47	20,3	0,00563	0,005
Toukokuu	13,3	5,39	1,11	1,21	2,45	9,8	0,00271	0,005
Lokakuu	8,8	4,95	1,55	1,21	2,46	13,8	0,00383	0,005
Marraskuu	5,9	4,27	2,23	1,22	2,47	19,8	0,00551	0,005
Joulukuu	1,5	3,42	3,08	1,22	2,49	27,6	0,00766	0,005

TAULUKKO 11. Nykyinen kostutuksen lisälämmitys konserttikäytössä

Kostutuksen lisälämmitys 100 % teholla ja raitisilma 70%(kW)	
Tammikuu	21,22
Helmikuu	20,20
Maaliskuu	18,62
Huhtikuu	13,56
Toukokuu	6,13
Lokakuu	9,12
Marraskuu	12,61
Joulukuu	18,65
Yhteensä	120,11

7.1.2 Höyrykostutus

Höyrykostutuksen energiankulutuksen laskelmat ovat esitetty taulukoissa 12 ja 13.

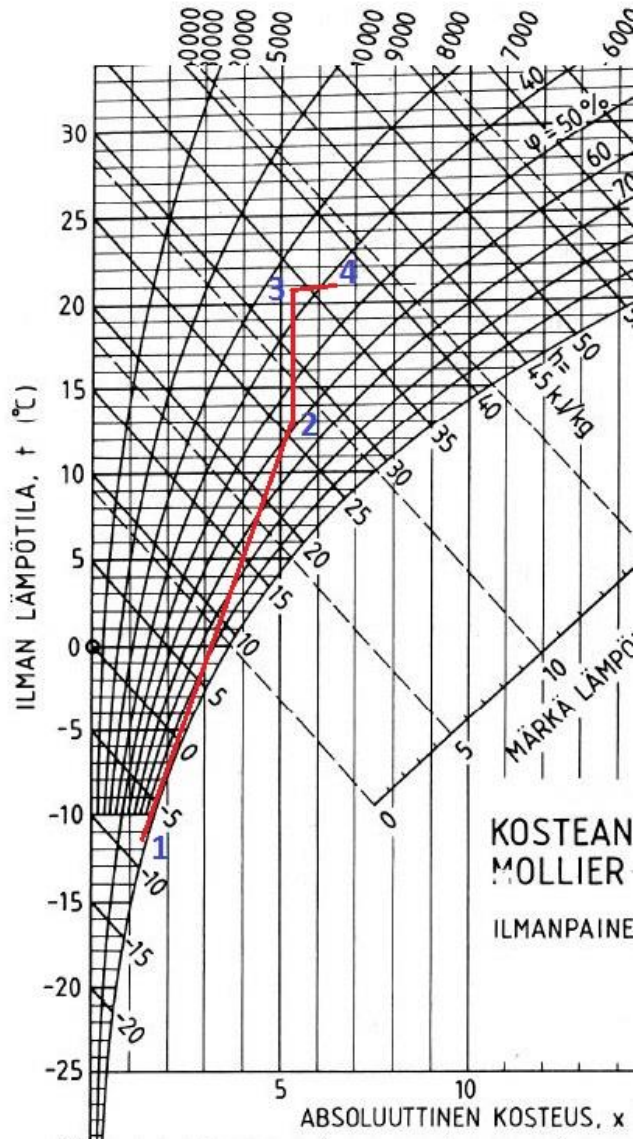
TAULUKKO 12. Hörykostuttimen energiankulutus IV-koneen 50 % teholla

Hörykostuttimen energiankulutus, IV-kone 50% teholla							
Kuukausi	Kost. Tarve (g/kg)	Tiheys (kg/m ³)	Ilman massavirta (kg/s)	Entalpia (kJ/kg)	Höyrystysteho (kW)	Käyntiaika (h)	Energiankulutus (kWh)
Tammikuu	1,26	1,230	1,25	34,3	4,1	76	310,0
Helmikuu	1,22	1,228	1,25	34,4	3,9	76	300,0
Maaliskuu	1,1	1,223	1,24	34,7	3,6	76	270,0
Huhtikuu	0,81	1,215	1,23	35,5	2,6	76	199,1
Toukokuu	0,39	1,207	1,23	36,5	1,3	76	98,6
Lokakuu	0,55	1,214	1,23	36,1	1,8	76	137,2
Marraskuu	0,79	1,218	1,24	35,5	2,6	76	194,9
Joulukuu	1,1	1,225	1,24	34,7	3,6	76	270,4
						Yht:	1780,3

TAULUKKO 13. Hörykostuttimen energiankulutus IV-koneen 100 % teholla

Hörykostuttimen energiankulutus, IV-kone 100% teholla							
Kuukausi	Kost. Tarve (g/kg)	Tiheys (kg/m ³)	Ilman massavirta (kg/s)	Entalpia (kJ/kg)	Höyrystysteho (kW)	Käyntiaika (h)	Energiankulutus (kWh)
Tammikuu	1,26	1,230	2,50	34,3	8,2	316	2578,3
Helmikuu	1,22	1,228	2,49	34,4	7,9	316	2494,8
Maaliskuu	1,1	1,223	2,48	34,7	7,1	316	2245,0
Huhtikuu	0,81	1,215	2,47	35,5	5,2	316	1656,1
Toukokuu	0,39	1,207	2,45	36,5	2,6	316	819,9
Kesäkuu							
Heinäkuu							
Elokuu							
Syyskuu							
Lokakuu	0,55	1,214	2,46	36,1	3,6	316	1140,6
Marraskuu	0,79	1,218	2,47	35,5	5,1	316	1620,9
Joulukuu	1,1	1,225	2,49	34,7	7,1	316	2248,8
						Yht:	14804,3

Kokonaisenergiankulutukseksi saatiin näin ollen siis $E_{\text{kok}} = 1780,3 \text{ kWh} + 14804,3 \text{ kWh} = 16584,6 \text{ kWh/a} \approx 16,6 \text{ MWh/a}$. Hörykostutuksen prosessi Mollier-diagrammissa on esitetty kuvassa 4. Siinä esitetään hörykostutuksen käyttäytyminen Mollier-diagrammilla tammikuun olosuhteissa.



KUVA 4. Höyrykostutuksen prosessi tammikuun olosuhteissa

Kuvassa piste 1 on ulkoilman tila (-11,2 °C, 1,46 g/kg). Piste 2 on lämmöntalteenoton jälkeinen tila (+ 13 °C, 5,24 g/kg). Piste 3 on lämmityspatterin jälkeinen tila ennen höyrykostutinta ja piste 4 on ilman tila höyrykostuttimen jälkeen (+ 21 °C, 6,5 g/kg).

Investointikustannuksien laskentaa varten laskettiin ensin höyrykostuttimen mitoittava kostutustarve. Kuopiossa mitoittava lämpötilana on -32 °C ja suhteellinen kosteus on tällöin noin 90 %. Vaisalan kosteuskurvin avulla saatiin määriteltä tällöin absoluuttisen kosteuden olevan noin 0,2 g/kg ja ilman tiheyden olevan 1,4636 kg/m³ [19]. Kaavalla 8 saatiin aluksi laskettua ilman absoluuttinen kosteus LTO:n jälkeen:

$$x_{LTO} = 0,2 \frac{g}{kg} + 0,75 * \left(6,5 \frac{g}{kg} - 0,2 \frac{g}{kg} \right) = 4,925 \frac{g}{kg}$$

Massavirta kamarimusiikkisalin koneelle saatiin laskettua kaavalla 1:

$$q_m = 1,4636 \frac{kg}{m^3} * 2,03 \frac{m^3}{s} = 2,97 \text{ kg/s}$$

Massavirran ja LTO:n jälkeisen absoluuttisen kosteuden avulla saatiin laskettua höyrykostuttimen mitoittava kostutustarve:

$$\text{Kostutustarve} = 2,97 \frac{kg}{s} * 4,925 \frac{g}{kg} * 3,6 = 52,67 \frac{kg}{h} \approx 53 \frac{kg}{h}$$

Maahantuojalta pyydettiin tarjous tähän laitekokoon ja saatiin höyrykostuttimen hinnaksi 3800 € (ALV 0 %). Höyrykostuttimen energiankulutuksen ja vedenkulutuksen avulla saatiin laskettua kokonaiskäyttökustannukset kuukausittain, jotka on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Kamarimusiikkisalin höyrykostuttimen kokonaiskäyttökustannukset

Kokonaiskustannukset	
Kuukausi	€
Tammikuu	281,6
Helmikuu	272,6
Maaliskuu	245,5
Huhtikuu	181,7
Toukokuu	91,0
Lokakuu	125,8
Marraskuu	177,8
Joulukuu	245,9
Yhteensä:	1630,9

Kokonaiskäyttökustannuksiksi kamarimusiikkisalin höyrykostutukselle saatiin siis 1631 € vuodessa. Käyttökustannuksiin ei ole kuitenkaan huomioitu huoltokustannuksia. Höyrykostuttimen asennuskustannuksena oli noin 800 €.

7.1.3 Kennokostutus

Kennokostutin vaatii lisälämmitystä, sillä kostuttimessa lämpötila laskee. Kamarimu-
siikkisalin kennokostutuksen kostutuksen vaatimat lisälämmitykset on esitetty taulu-
kossa 15.

TAULUKKO 15. Kostutuksen vaatimat lisälämmitykset kuukausittain

Kostutuksen lisälämmitys 100 % (kW)	
Tammi	7,49
Helmi	6,70
Maalis	5,21
Huhti	4,69
Touko	2,21
Loka	2,96
Marras	4,70
Joulu	5,97
Yhteensä	39,92
Kostutuksen lisälämmitys 50 % (kW)	
Tammi	3,75
Helmi	3,35
Maalis	2,61
Huhti	2,34
Touko	1,10
Loka	1,48
Marras	2,35
Joulu	2,98
Yhteensä	19,96

Kennokostuttimen kiertovesipumpun mitoittavaksi virtaamaksi laskettiin $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Grundfosin sivuilta valittiin pumpuksi UP 15-14 B PM, jonka ottoteho on kostuttimen virtaamilla välillä 5,1 – 5,4 W. [21.]

Kennokostuttimesta johtuvaa painehäviötä tarkasteltiin Fläkt Woodsin Acon-
ohjelmalla. Ohjelma ilmoitti kennokostuttimen mitoittavan painehäviön olevan 88
Pascalia. Tämä paineenkorotus lisäsi puhaltimen ottamaa tehoa 0,24 kW.[15.]

Kennokostuttimen energiankulutus IV-koneen 100 % teholla on esitetty taulukossa 16
ja 50 % teholla taulukossa 17.

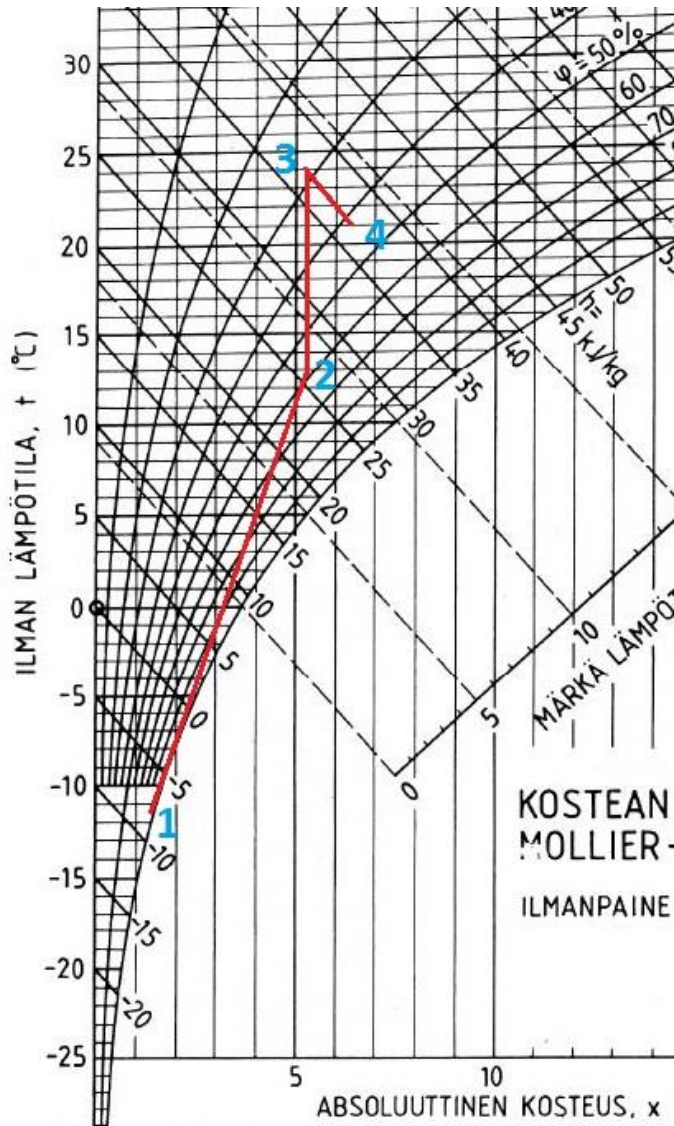
TAULUKKO 16. Kennokostuttimen energiankulutus 100 % teholla

Energiankulutukset 100 % tehon käyntiaikana (316h/kk)			
Kuukausi	Kiertovesipumppu (kWh)	Kostutuksen lisälämmitys (kWh)	Kostuttimesta johtuva paineen korotus puhaltimessa (kWh)
Tammikuu	1,7	2366,9	75,84
Helmikuu	1,7	2117,9	75,84
Maaliskuu	1,7	1647,2	75,84
Huhtikuu	1,7	1480,7	75,84
Toukokuu	1,7	696,8	75,84
Lokakuu	1,7	934,3	75,84
Marraskuu	1,7	1484,9	75,84
Joulukuu	1,7	1885,8	75,84
Yhteensä	13,4	12614,5	606,72
kWh/a:	13234,6		

TAULUKKO 17. Kennokostuttimen energiankulutus 50 % teholla

Energiankulutukset 50 % tehon käyntiaikana (76h/kk)			
Kuukausi	Kiertovesipumppu (kWh)	Kostutuksen lisälämmitys (kWh)	Kostuttimesta johtuva paineen korotus puhaltimessa (kWh)
Tammikuu	0,4	284,6	9,12
Helmikuu	0,4	255,8	9,12
Maaliskuu	0,4	198,1	9,12
Huhtikuu	0,4	178,1	9,12
Toukokuu	0,4	83,8	9,12
Lokakuu	0,4	112,3	9,12
Marraskuu	0,4	178,6	9,12
Joulukuu	0,4	226,8	9,12
Yhteensä	3,2	1518,1	72,96
kWh/a:	1594,3		

Kokonaisenergiankulutukseksi kamarimusiikkisalin kennokostuttimille saatiin $13234,6 \text{ kWh} + 1594,3 \text{ kWh} = 14838,6 \text{ kWh/a} \approx 14,8 \text{ MWh/a}$. Kennokostuttimen prosessi Mollier-diagrammissa tammikuun olosuhteissa on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Kennokostutuksen prosessi tammikuun olosuhteissa

Kuvassa piste 1 on ulkoilman tila ($-11,2\text{ °C}$, $1,46\text{ g/kg}$). Piste 2 on ilman tila lämmöntalteenoton jälkeen ($+13\text{ °C}$, $5,24\text{ g/kg}$). Piste 3 on lämmityspatterin jälkeinen tila ja piste 4 taas kostuttimen jälkeinen tila. Kuvasta voidaan myös nähdä lämpötilan pudotuksen kennossa olevan noin 3 °C (pisteiden 3 ja 4 välinen lämpötilaero). Tästä lämpötilaerosta saatiin laskettua kostuttimen vaatiman lisälämmityksen kilowattimäärä kuukausittain.

Kennokostuttimen mitoitettava kostutustarve on sama 53 kg/h kuin höyrykostutuksella. Maahantuojalta saatiin hinnaksi tämän kokoluokan kennokostuttimeen $10\ 100\text{ €}$ (ALV 0 %). Kamarimusiikkisalun kennokostuttimen käyttökustannukset ovat esitetty taulukossa 18.

TAULUKKO 18. Kamarimusiikkisalin kennokostuttimen käyttökustannukset

Kuukausittaiset kustannukset yhteensä	
Kuukausi	Kustannus (€)
Tammikuu	191,5
Helmikuu	174,3
Maaliskuu	139,2
Huhtikuu	123,9
Toukokuu	64,0
Lokakuu	82,6
Marraskuu	124,0
Joulukuu	155,9
Yhteensä:	1064,3

Kamarimusiikkisalin kennokostutuksen vuosittaiset käyttökustannukset ovat siis karkeasti noin 1080 euroa vuodessa. Kennokostuttimen asennuskustannukseksi tuli noin 1100 euroa.

7.2 Konserttisali

Konserttisaliin päätettiin tutkia ratkaisua, jossa nykyinen 8,240 m³/s ilmavirralla toimiva suurempi ilmastointikone jaettaisiin kahteen pienempään 4,120 m³/s ilmavirralla toimivaan koneeseen. Tällä ratkaisulla on mahdollista sijoittaa koneisiin myös pyörivä lämmöntalteenotto ja pienentää energiankulutusta huomattavasti. Nykyiseen koneeseen ei saa pyörivää lämmöntalteenottoa sen suuren koon ja tilanpuutteen vuoksi. Kostutusratkaisuna tarkastellaan höyrykostutusta ja kennokostutusta, kuten kamarimusiikkisalinkin tapauksessa. Myös konserttisalin laskuihin otetaan huomioon pyörivä lämmöntalteenotto, joka myös tässä tapauksessa on Fläkt Woodsin REGOTERM SEMCO hygroskooppinen regeneratiivinen pyörivä roottori. Tämän kokoluokan ilmastointikoneessa LTO:n lämpötilahyötysuhde on noin 78,5 % ja kosteushyötysuhde 74 - 75 %. Laskelmissa käytetään kuitenkin varmuuden vuoksi lämpötilahyötysuhteenä 75 % ja kosteushyötysuhteenä 72 %. Kaikki laskelmat tehtiin taulukon 2 mukaisten konserttisalin käyntiaikojen sekä taulukon 3 mukaisten keskilämpötilojen ja -kosteuksien mukaan.

7.2.1 Nykyinen ratkaisu

Konserttisalissa on tällä hetkellä käytössä yksi iso 8,24 m³/s ilmavirralla toimiva ilmastointikone, jossa on käytössä kennokostutus. Ilmastointikoneessa ei ole tällä hetkellä lämmöntalteenottoa käytössä ollenkaan. Ilmastointikonetta käytetään siten, että normaalikäytössä kierrätysilman osuus on 70 % ja aktiivikäytössä konserttien aikaan 40 %. Nykytilanteen mukaisen kennokostutusratkaisun energiankulutuslaskelmat 50 % ja 100 % tehoilla on esitetty taulukoissa 19 ja 20.

TAULUKKO 19. Nykyinen tehontarve 50 % teholla

Energiankulutukset 50 % tehon käyntiaikana (156h/kk)			
Kuukausi	Kiertovesipumppu (kWh)	Kostutuksen lisälämmitys (kWh)	Kostuttimesta johtuva paineen korotus puhaltimessa (kWh)
Tammikuu	0,4	1270,9	18,24
Helmikuu	0,4	1230,8	18,24
Maaliskuu	0,4	1110,4	18,24
Huhtikuu	0,4	760,8	18,24
Toukokuu	0,4	377,9	18,24
Lokakuu	0,4	570,1	18,24
Marraskuu	4,1	877,4	18,24
Joulukuu	4,2	1150,6	18,24
Yhteensä	10,8	7348,8	145,92
kWh/a:	7505,5		

TAULUKKO 20. Nykyinen tehontarve 100 % teholla

Energiankulutukset 100 % tehon käyntiaikana (320h/kk)			
Kuukausi	Kiertovesipumppu (kWh)	Kostutuksen lisälämmitys (kWh)	Kostuttimesta johtuva paineen korotus puhaltimessa (kWh)
Tammikuu	1,7	10568,1	75,84
Helmikuu	1,7	10235,4	75,84
Maaliskuu	1,7	9233,5	75,84
Huhtikuu	1,7	6326,8	75,84
Toukokuu	1,7	3142,6	75,84
Lokakuu	1,7	4740,4	75,84
Marraskuu	17,1	7296,2	75,84
Joulukuu	17,4	9568,3	75,84
Yhteensä	44,7	61111,4	606,72
kWh/a:	61762,8		

Näin ollen kokonaisenergiankulutukseksi normaalikäytössä konsertteja huomioimatta saadaan 7505,5 kWh + 61762,8 kWh = 69268,3 kWh ≈ 69,3 MWh. Konserttikäytössä kuitenkin lisälämmityksen tehontarve kasvaa huomattavasti, sillä kierrätysilman osuus

tippuu 40 prosenttiin, jolloin ei siirry niin paljon kosteutta ja lämpöä tuloilmaan. Konserttikäytön energiankulutuslaskelmat on esitetty taulukoissa 21 ja 22.

TAULUKKO 21. Nykyinen tehontarve konserttikäytössä

Kennokostutin konserttikäytössä (raitisilman osuus 60%) 100 % IV-koneen teholla								
Kuukausi	L-tila LTO:n jälkeen (°C)	Abs. Kost. Kierrätysilman jälk. (g/kg)	Kost. Tarve (g/kg)	Tiheys (kg/m ³)	Massavirta (kg/s)	Kostutusmäärä (kg/h)	Veden kulutus (l/s)	Kiertovesipumpun teho (kW)
Tammikuu	1,7	3,48	3,02	1,23	10,13	110,3	0,03065	0,0059
Helmikuu	2,5	3,57	2,93	1,23	10,12	106,9	0,02970	0,0059
Maaliskuu	5,6	3,86	2,64	1,22	10,08	95,8	0,02660	0,0057
Huhtikuu	10,0	4,54	1,96	1,21	10,01	70,5	0,01958	0,0055
Toukokuu	14,4	5,55	0,95	1,21	9,94	33,9	0,00943	0,0054
Lokakuu	10,6	5,17	1,33	1,21	10,00	48,0	0,01332	0,0053
Marraskuu	8,0	4,59	1,91	1,22	10,04	69,0	0,01915	0,0055
Joulukuu	4,3	3,86	2,64	1,22	10,09	95,9	0,02665	0,0057

TAULUKKO 22. Nykyinen lisälämmityksen tehontarve konserttikäytössä

Kostutuksen lisälämmitys 100 % teholla ja raitisilma 60%(kW)	
Tammi	70,94
Helmi	68,83
Maalis	61,46
Huhti	49,05
Touko	22,87
Loka	30,00
Marras	47,18
Joulu	61,57
Yhteensä	411,91

Kostuttimesta johtuva puhaltimen paineenkorotus on $8,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmamäärällä 1,05 kW kennokostuttimen mitoittavan painehäviön ollessa 102 Pascalia.

7.2.2 Höyrykostutus

Lämmöntalteenoton jälkeiset kuukausittaiset lämpötilat sekä kosteusmäärät ovat esitelty taulukossa 23.

TAULUKKO 23. Kuukausittaiset lämpötilat ja kosteudet LTO:n jälkeen

Kosteus ja lämpötila LTO:n jälkeen		
Kuukausi	Lämpötila (°C)	Abs. Kosteus (g/kg)
Tammi	13,0	5,09
Helmi	13,3	5,13
Maalis	14,6	5,27
Huhti	16,4	5,59
Touko	18,3	6,06
Loka	16,7	5,88
Marras	15,6	5,61
Joulu	14,1	5,27

Kuten myös kamarimusiikkisalissa, myös konserttisalissa kostutuksen tarve on loka-kuusta toukokuuhun taulukon 3 mukaisilla keskilämpötiloilla ja kosteuksilla. Höyrykustutuksen vaatimat energiankulutuslaskelmat ovat esitetty 50 % teholla taulukossa 24 ja 100 % teholla taulukossa 25.

TAULUKKO 24. Konserttisalin höyrykostuttimen energiankulutus 50 % teholla

Höyrykostuttimen energiankulutus, IV-kone 50% teholla							
Kuukausi	Kost. Tarve (g/kg)	Tiheys (kg/m ³)	Ilman massavirta (kg/s)	Entalpia (kJ/kg)	Höyrytysteho (kW)	Käyntiaika (h)	Energiankulutus (kWh)
Tammikuu	1,41	1,230	2,53	34,0	9,2	156	1442,2
Helmikuu	1,37	1,228	2,53	34,1	9,0	156	1400,2
Maaliskuu	1,23	1,223	2,52	34,4	8,0	156	1254,3
Huhtikuu	0,91	1,215	2,50	35,2	6,0	156	928,8
Toukokuu	0,44	1,207	2,49	36,4	2,9	156	459,6
Lokakuu	0,62	1,214	2,50	36,0	4,1	156	640,8
Marraskuu	0,89	1,218	2,51	35,3	5,8	156	911,4
Joulukuu	1,23	1,225	2,52	34,4	8,1	156	1256,5
						Yht:	8293,9

TAULUKKO 25. Konserttialin höyrykostuttimen energiankulutus 100 % teholla

Höyrykostuttimen energiankulutus, IV-kone 100% teholla							
Kuukausi	Kost. Tarve (g/kg)	Tiheys (kg/m³)	Ilman massavirta (kg/s)	Entalpia (kJ/kg)	Höyrytysteho (kW)	Käyntiaika (h)	Energiankulutus (kWh)
Tammikuu	1,41	1,230	5,07	34,0	18,5	320	5916,9
Helmikuu	1,37	1,228	5,06	34,1	18,0	320	5744,4
Maaliskuu	1,23	1,223	5,04	34,4	16,1	320	5145,9
Huhtikuu	0,91	1,215	5,01	35,2	11,9	320	3810,5
Toukokuu	0,44	1,207	4,97	36,4	5,9	320	1885,5
Lokakuu	0,62	1,214	5,00	36,0	8,2	320	2629,0
Marraskuu	0,89	1,218	5,02	35,3	11,7	320	3739,2
Joulukuu	1,23	1,225	5,05	34,4	16,1	320	5154,8
						Yht:	34026,4

Taulukon 24 ja 25 laskelmat ovat tehty vain yhdelle koneelle, joten jos otetaan molemmat konserttialin koneet huomioon, saatu energiankulutus kaksinkertaistuu. Näin ollen kokonaisenergiankulutukseksi vuodessa saadaan siis $(8293,9 \text{ kWh} + 34026,4 \text{ kWh}) * 2 = 84640,6 \text{ kWh} \approx 84,6 \text{ MWh}$ vuodessa.

Myös konserttialin höyrykostuttimelle laskettiin mitoittava kustutustarve. Kustutustarpeeksi saatiin 107 kg/h. Tämän kokoluokan höyrykostuttimelle maahantuojalla antoi tarjoushinnaksi 5300 € (ALV 0 %). Eli yhteensä konserttialiin menisi höyrykostuttimia 2 kappaletta, joten kokonaisinvestointikustannus on $5300 \text{ €} * 2 = 10\,600 \text{ €}$.

Konserttialin höyrykostuttimen kokonaiskäyttökustannukset on esitetty taulukossa 26.

TAULUKKO 26. Konserttialin höyrykostuttimen kokonaiskäyttökustannukset

Kokonaiskustannukset	
Kuukausi	€
Tammikuu	1413,5
Helmikuu	1372,4
Maaliskuu	1229,6
Huhtikuu	911,1
Toukokuu	451,9
Lokakuu	629,2
Marraskuu	894,0
Joulukuu	1231,7
Yhteensä:	8142,3

Kokonaiskäyttökustannuksiksi saatiin siis 8142 € vuodessa, mutta siihen ei ole otettu huoltokustannuksia huomioon. Asennuskustannuksia höyrykostuttimille tulee noin 1600 euroa.

7.2.3 Kennokostutus

Kennokostutuksen vaatima lisälämmityksen tarve on esitetty kuukausittain 50 % ja 100 % tehoilla taulukossa 27.

TAULUKKO 27. Kennokostutuksen vaatima lisälämmitys 50 % ja 100 % tehoilla kuukausittain

Kostutuksen lisälämmitys 100 % (kW)	
Tammi	14,69
Helmi	14,17
Maalis	13,10
Huhti	9,51
Touko	4,48
Loka	6,00
Marras	10,04
Joulu	13,63
Yhteensä	85,61
Kostutuksen lisälämmitys 50 % (kW)	
Tammi	7,35
Helmi	7,09
Maalis	6,55
Huhti	4,76
Touko	2,24
Loka	3,00
Marras	5,02
Joulu	6,81
Yhteensä	42,81

Kennokostuttimen kiertovesipumpun mitoittavaksi virtaamaksi laskettiin 0,030 m³/s. Grundfosin sivuilta valittiin pumpuksi UP 15-14 B PM, jonka ottoteho on kostuttimen virtaamilla välillä 5,1 – 5,5 W. [21.]

Kennokostuttimesta johtuvaa painehäviötä tarkasteltiin Fläkt Woodsin Acon-ohjelmalla. Ohjelma ilmoitti kennokostuttimen mitoittavan painehäviön olevan 117 Pascalia. Tämä paineenkorotus lisäsi puhaltimen ottamaa tehoa 0,47 kW täydellä teholla. [15.]

Kennokostuttimen energiankulutus IV-koneen 50 % teholla on esitetty taulukossa 28 ja 100 % teholla taulukossa 29.

TAULUKKO 28. Konserttisalin kennokostuttimen energiankulutus 50 % tehon käyntiajoilla

Energiankulutukset 50 % tehon käyntiaikana (156h/kk)			
Kuukausi	Kiertovesipumppu (kWh)	Kostutuksen lisälämmitys (kWh)	Kostuttimesta johtuva paineen korotus puhaltimessa (kWh)
Tammikuu	0,8	1146,2	36,66
Helmikuu	0,8	1105,3	36,66
Maaliskuu	0,8	1021,7	36,66
Huhtikuu	0,8	741,8	36,66
Toukokuu	0,8	349,1	36,66
Lokakuu	0,8	468,0	36,66
Marraskuu	0,8	783,0	36,66
Joulukuu	0,8	1062,8	36,66
Yhteensä	6,6	6678,0	293,28
kWh/a:	6977,9		

TAULUKKO 29. Konserttialin kennokostuttimen energiankulutus 100 % tehon käyntiajoilla

Energiankulutukset 100 % tehon käyntiaikana (320h/kk)			
Kuukausi	Kiertovesipumppu (kWh)	Kostutuksen lisälämmitys (kWh)	Kostuttimesta johtuva paineen korotus puhaltimessa (kWh)
Tammikuu	1,7	4702,4	150,4
Helmikuu	1,7	4534,7	150,4
Maaliskuu	1,7	4191,6	150,4
Huhtikuu	1,6	3043,3	150,4
Toukokuu	1,7	1432,1	150,4
Lokakuu	1,7	1920,2	150,4
Marraskuu	1,7	3212,4	150,4
Joulukuu	1,7	4360,3	150,4
Yhteensä	13,5	27396,7	1203,2
kWh/a:	28613,5		

Kuten myös höyrykostutuksen energiankulutuslaskelmissa, myös kennokostutuksessa on laskettu vain yhden koneen energiankulutus. Näin ollen kokonaisenergiankulutus saadaan kun kerrotaan tulos kahdella: $(6977,9 \text{ kWh} + 28613,5 \text{ kWh}) * 2 = 71182,8 \text{ kWh} \approx 71,2 \text{ MWh}$ vuodessa.

Kennokostuttimen kustutustarve on sama 107 kg/h kuin höyrykostuttimellakin. Tämän kokoluokan kennokostuttimelle maahantuojalla antoi hinnaksi 13 100 € /kostutin, eli yhteensä kahdelle koneelle 26 200 € (ALV 0 %). Konserttialin kennokostuttimen kuukausittaiset käyttökustannukset on esitetty taulukossa 30.

TAULUKKO 30. Konserttialin kennokostuttimen kuukausittaiset käyttökustannukset

Kuukausittaiset kustannukset yhteensä	
Kuukausi	Kustannus (€)
Tammikuu	378,1
Helmikuu	365,4
Maaliskuu	338,1
Huhtikuu	250,8
Toukokuu	127,8
Lokakuu	166,0
Marraskuu	261,9
Joulukuu	349,8
Yhteensä:	2238,1

Kennokostuttimien asennuskustannukseksi tuli noin 2200 euroa.

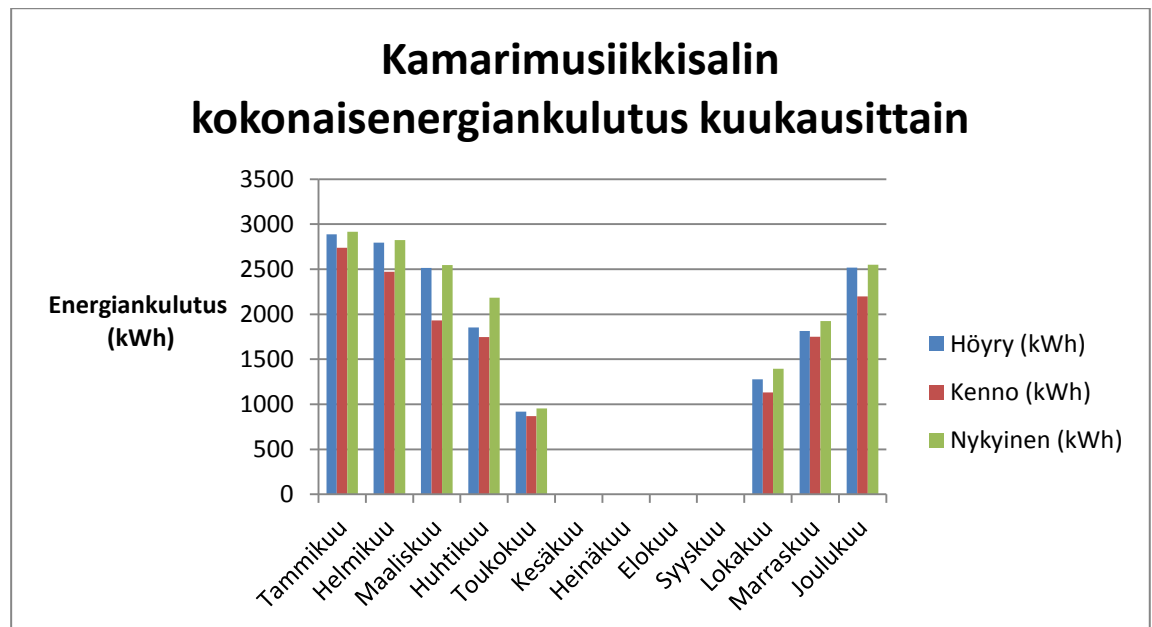
7.3 Tulosten yhteenveto

Taulukossa 31 on esitetty kamarimusiikkisalilin kustutusvaihtoehtojen vuosittaiset energiankulutukset ja konserttikäytön lisälämmityksen tarve.

TAULUKKO 31. Kamarimusiikkisalilin kustutusvaihtoehtojen energiankulutukset vuodessa

Kamarimusiikkisalilin kustutusvaihtoehtojen vertailu		
Hörykustutus (MWh)	Kennokustutus (MWh)	Nykyinen ratkaisu (MWh)
16,6	14,8	17,3
Konserttikäytön lisälämmityksen tarve		
Kennokustutus (kW)		Nykyinen ratkaisu (kW)
40		120,1

Kuten taulukosta voidaan päätellä, on uusi kennokustutusratkaisu energiatehokkain ratkaisu. Kun otetaan huomioon myös konserttikäytön lisälämmityksen tarve, on ero huomattava nykyiseen ratkaisuun verrattuna. Konserttikäytössä kennokostuttimen lisälämmityksen tarve on nykyratkaisussa kolminkertainen verrattuna uuteen ratkaisuun. Kuvassa 6 on esitetty kamarimusiikkisalilin kokonaisenergiankulutukset kuukausittain eri kustutusmenetelmille.



KUVA 6. Kamarimusiikkisalilin kokonaisenergiankulutus kuukausittain eri kustutusmenetelmille

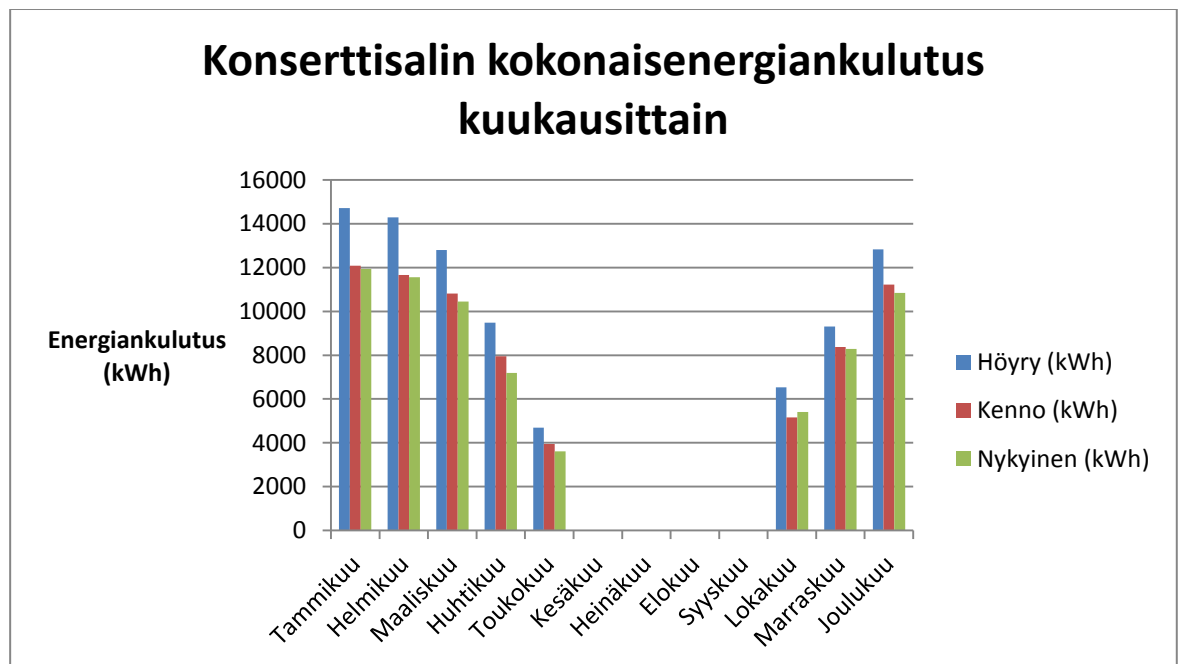
Taulukossa 32 on esitetty konserttisalin kostutusvaihtoehtojen vuosittainen energiankulutus sekä konserttikäytön lisälämmityksen tarve.

TAULUKKO 32. Konserttisalin kostutusvaihtoehtojen vuosittainen energiankulutus ja konserttikäytön lisälämmityksen tarve

Konserttisalin kostutusvaihtoehtojen vertailu		
Höyrykostutus (MWh/a)	Kennokostutus (MWh/a)	Nykyinen ratkaisu (MWh/a)
84,6	71,2	69,3
Konserttikäytön lisälämmityksen tarve		
Kennokostutus (kW)		Nykyinen ratkaisu (kW)
85,6		411,9

Taulukosta voidaan päätellä, että nykyinen ratkaisu olisi kaikista energiatehokkain. Näin ei kuitenkaan ole, vaan tehokkain ratkaisu on uusi kennokostutus. Nykyisen ja uuden kennokostutusratkaisun eron näkee konserttikäytön lisälämmityksen tarpeessa. Konserttisalin konserttikäytön lisälämmityksen tarve on lähes viisinkertainen nykyratkaisussa verrattuna uuteen kennokostutusratkaisuun.

Konserttisalin kuukausittaiset kokonaisenergiankulutukset eri vaihtoehdoille on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Konserttisalin kokonaisenergiankulutus kuukausittain eri kostutusmenetelmille

Taulukossa 33 nähdään eri kostutusmenetelmien kokonaiskustannukset tilakohtaisesti.

TAULUKKO 33. Kostuttimien kokonaiskustannukset tilakohtaisesti

Kostuttimien kokonaiskustannukset tilakohtaisesti	
Kamarimusiikkisali, höyry	
Investointi (€)	3800
Asennus (€)	800,0
Käyttökustannus (€/a)	1630,9
Kamarimusiikkisali, kenno	
Investointi (€)	10100
Asennus (€)	1100,0
Käyttökustannus (€/a)	1064,3
Konserttisali, höyry	
Investointi (€)	10600
Asennus (€)	1600,0
Käyttökustannus (€/a)	8142,3
Konserttisali, kenno	
Investointi (€)	26200
Asennus (€)	2200,0
Käyttökustannus (€/a)	2238,1

Käyttökustannuksiin ei ole otettu huomioon mahdollisia huoltokustannuksia.

8 TULOSTEN TARKASTELU

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Suomessa käytettäviä konserttitilojen kostutusratkaisuja ja tehdä näistä selvityksistä omat johtopäätökset ja soveltaa niitä Kuopion Musiikkikeskuksen kostutusmenetelmien vertailuun. Tavoitteena oli löytää parhaimmat ja toimivimmat ratkaisut tilakohtaisesti. Myös energiankulutus ja kustannukset olivat tärkeitä osa-alueita.

Saadut tulokset osoittivat, että energiatehokkaimmat ratkaisut olivat kennokostuttimet kamarimusiikkisaliin ja varsinkin konserttisaliin. Toisaalta kennokostuttimien investointikustannukset olivat suurempia kuin höyrykostuttimien. Käyttökustannuksissa ei ollut kamarimusiikkisalissa kennon ja höyryn välillä merkittävän suurta eroa, mutta konserttisalissa ero oli jo huomattava. Tästä voisi päätellä, että konserttisaliin järkevä ratkaisu olisi kennokostutin. Kamarimusiikkisaliin on vaikeampi päättää, kummanko

menetelmän ottaa käyttöön. Investointina kennokostutin on kalliimpi kuin höyry, mutta se on käyttökustannuksiltaan hieman halvempi. Höyrykostuttimessa on myös huollon tarve suurempi. Toisaalta höyrykostutin on hygieenisempi ratkaisu eikä se vaadi veden käsittelyä.

Lämmöntalteenoton vaikutus on kostuttimien energiankulutuksen kannalta todella suuri. Näin ollen on ehdottomasti järkevää asentaa kaikkiin kostutuksen sisältäviin ilmastointikoneisiin kosteutta siirtävä pyörivä lämmöntalteenotto. Tämä pudottaa energiankulutusta ja vuosittaisia käyttökustannuksia jo huomattavasti. Tästä johtuen on myös järkevää jakaa konserttisalin nykyinen iso kone kahdeksi tai kolmeksi pienemmäksi koneeksi ja jakaa salin ilmanvaihto osiin koneiden kesken. Normaalkäytössä voi tällöin ajaa esimerkiksi yhtä konetta kerrallaan täydellä teholla ja muissa koneissa hyödyntää kierrätysilmaa, jolloin energiankulutus tippuu suuresti. Konserttikäytössä taas voi sitten ajaa raitista ilmaa koko saliin. Nykyiseen koneeseen ei tilanpuutteen johdosta saa millään lisättyä pyörivää lämmöntalteenottoa.

Vaikka tuloksista voisikin äkkiseltään päätellä, että kamarimusiikkisalin ja konserttisalin nykyiset kostutusratkaisut olisivat kilpailukykyisiä uusiin vertailtaviin ratkaisuihin verrattuna, tulee kuitenkin ottaa huomioon, että uusien ratkaisujen laskelmissa ei ole otettu huomioon kierrätysilmaa. Käytännössä siis käsiteltävissä uusissa ratkaisuissa kierrätysilman osuus on 0 % ja kone puhaltaa vain raitista ilmaa. Vaikka kierrätysilmaa ei ole huomioitu laskelmiin, voidaan sitä silti käyttää vielä lämmöntalteenoton lisäksi uusissa ratkaisuissa, jolloin energiankulutus tippuu vielä entisestään. Nämä asiat huomioon ottaen on uudet sekä höyry- että kennokostutusratkaisut molempiin saleihin huomattavasti energiatehokkaampia ratkaisuja kuin nykyiset ratkaisut. Pyörivän, hygroskooppisen lämmöntalteenoton lisääminen koneisiin tuo jo erittäin huomattavan energiansäästön.

Kamarimusiikkisalin höyrykostutuksen ja kennokostutuksen käyttökustannuksilla ei ollut suurta eroa vuositasolla, noin 600 euroa. Käyttökustannuksiin ei kuitenkaan ole huomioitu huoltokustannuksia, jotka ovat oletettavasti höyrykostuttimella suuremmat. Höyry on investointikustannuksiltaan halvempi ratkaisu kuin kennokostutin. Höyrykostuttimen hinta on 3800 € (alv 0 %) ja kennokostuttimen 10100 € (alv 0 %). Asennuskustannuksiltaan kennokostutus on noin 300 euroa kalliimpi toteutus.

Konserttisalin energiankulutukset ovat huomattavasti suuremmat kuin kamarimusiikkisalissa, mutta tämä selittyy sillä, että konserttisalin ilmastointikoneet ovat paljon suuremmat kuin kamarimusiikkisalissa. Myös kamarimusiikkisalin vertailuun tulee ottaa huomioon, että sekä höyry- että kennokostutinvaihtoehdoissa IV-kone puhalttaa vain raitisilmaa ja kierrätysilman osuus on 0 %. Näin ollen nykyinen ratkaisu vaikuttaa energiatehokkaimmalta, vaikka tämä ei todellisuudessa pidä paikkaansa. Varsinkin konserttikäytössä ero on huomattava. Koska konserttisalissa järjestetään konserteja melko tiuhaan, on ero merkittävä jo vuositasollakin.

Konserttisalin höyrykostuttimien investointikustannuksiksi tuli siis 10600 € (ALV 0 %) ja kennokostuttimien investointikustannuksiksi 26200 € (ALV 0 %). Investointikustannuksissa on suuri ero höyrykostuttimen eduksi, mutta vuosittaisia käyttökustannuksia tarkasteltaessa taas kennokostutin on järkevämpi ratkaisu. Höyryllä käyttökustannukset ovat siis 8142 €/a ja kennolla 2268 €/a. Jos oletetaan, että kostuttimet ovat käytössä noin 25 vuotta, tällöin tällä ajalla höyryn käyttökustannukset ovat noin 204000 €, kun taas kennon kustannukset noin 57000 €. Höyrykostuttimella on myös huollon tarve suurempi kuin kennokostuttimella. Tällä näkökulmalla mietittynä voisi kennokostuttimen kuvitella olevan konserttisaliin järkevin ratkaisu.

Muihin musiikkikeskuksiin tai konserttisaleihin vertaaminen tulosten osalta on hankalaa, sillä niistä pitäisi löytyä kustutuksen osalta energiankulutukset, kustannukset ynnä muut tärkeät tiedot. Tuloksista voidaan kuitenkin olettaa niiden pitävän melko hyvin paikkansa ja osoittavan suuntaa oikeille vaihtoehdoille. Tutkimus oli rajoitettu lähinnä koskemaan konserttisalien tarkastelua ja vain höyry- ja kennokostutusta, joten pienempien tilojen kustutusmenetelmien vaihtoehtojen tarkastelu tämän tutkimuksen pohjalta ei välttämättä anna oikeaa kuvaa tilanteesta.

9 POHDINTA

Hygieenisuus on kostuttimien osalta olennainen osa, ja se tulee ottaa huomioon. Höyrykostutuksessa tämä ei ole niin merkittävä tekijä, sillä höyry on +100 °C lämpötilassa, ja tässä lämpötilassa eivät bakteerit tai muut haitalliset mikro-organismit elä tai leviä. Kennokostuttimissa taas hygieenisuus on tärkeämpi osa-alue, ja siihen on kiin-

nitettävä huomioita. Yleensä kennoon juoksutettavaa vettä on käsiteltävä ja puhdistettava jollain menetelmällä, jotta epäpuhtauksien määrä minimoitaisiin. Lisäksi on huolehdittava viemäroinnistä ja kennon alla olevan altaan tyhjennyksestä, jotta sinne ei pääse bakteerikasvustoa syntymään. Nykyään kennokostuttimet ovat yleisesti tehty melko hygieenisiksi. Lisäksi musiikkikeskuksien tyyppisissä rakennuksissa on yleensä osaava huoltohenkilökunta, joka pitää huolen kostuttimien hygieenisyydestä ja toimintakyvystä.

Pienempiä tiloja, esimerkiksi luokkahuoneita, joissa soittimia käsitellään, ei käyty läpi tässä opinnäytetyössä. Yleisesti ottaen kuitenkin näihin tiloihin tulisi valita kostutusmenetelmä ilmanvaihdon tilavuusvirran mukaan. Pienemmillä tilavuusvirroilla höyrykostutus ($\sim 2 \text{ m}^3/\text{s}$ tai alle) olisi luultavasti järkevämpi ratkaisu, kun taas isompiin koneisiin se olisi kennokostutin. Mahdollisesti myös tilakohtaiset kostutinvaihtoehdot olisi hyvä käydä läpi ja pohtia niiden käyttöä pienemmissä tiloissa.

Tilojen suunnittelu ja ilmastointilaitteiden jako on järkevää ottaa huomioon musiikkikeskuksia suunnitellessa. Yleisesti ottaen tulee erotella tilat kostutettaviin tiloihin ja tiloihin, jotka eivät vaadi kostutusta ja jakaa ilmastointikoneet näiden mukaan. Tämä ehkäisee mahdollista tilojen turhaa kostuttamista. Jos kostutusta vaatimatonta tilaa kostutetaan, voi se aiheuttaa turhaa tunkkaisuuden tunnetta ja se myös lisää turhaan energiankulutusta.

Höyrykostutuksen käyttö on hyvä vaihtoehto, mikäli esimerkiksi IV-konehuoneessa ei ole riittävästi tilaa käytettävissä. Höyrykostuttimen saa asennettua huomattavasti pienempään tilaan kuin kennokostuttimen ja näin ollen se on helpompi saada mahdutettua esimerkiksi jo olemassa olevaan ilmastointikoneeseen. Höyrykostutinta valittaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon sähkösaanti. Mikäli sähköä ei saada otettua esimerkiksi IV-konehuoneesta valmiiksi, voi olla että sähköjohdotukset joudutaan vetämään jostain paljon kauempaa. Tällöin höyrykostuttimen asennushinta nousee jo melko korkeaksi pelkästään sähköasennuskustannusten vuoksi.

Kuivatus myös loppukesästä ja alkusyksystä on myös tärkeä ottaa huomioon konserttitaloja kostuttaessa. Ulkoilman kosteuden noustessa liian suureksi on tasaisten olosuhteiden pitäminen sisäilmassa vaikeaa ilman kuivatusta. Lisäksi myös lämpiöihin olisi

hyvä lisätä jonkinasteinen peruskostutus, jotta kosteusero lämpiön ja salin välillä ei olisi niin suuri. Kosteuseron ollessa liian suuri se voi luoda epämukavuuden tunnetta siirryessä kuivasta lämpiöstä kostempaan saliin.

LÄHTEET

- [1] Ilman kosteus 2015. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>. Päivitetty 21.1.2015. Luettu 21.1.2015.
- [2] Sandberg, Esa. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014.
- [3] Lämpötilat ja kosteus. 2015. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lamputila-ja-kosteus>. Päivitetty 21.1.2015. Luettu 21.1.2015.
- [4] Nieminen, Rauno 2014. Riittävä ilmankosteus suojaa soitinta. Riffi. Verkkolehti.
<http://www.riffi.fi/artikkelit/toimituksen-tietolaari/riittava-ilmankosteus-suojaa-soitinta>. Päivitetty 12.1.2015. Luettu 12.1.2015.
- [5] Lankolainen, Eeva 2015. Häiriö ilmanvaihdossa: Musiikkikeskuksen opetusluokkien ilmankosteus notkahti. Savon Sanomat. Verkkolehti.
<http://www.savonsanomat.fi/uutiset/kulttuuri/musiikkikeskuksen-opetusluokkien-ilmankosteus-notkahti/1967476>. Päivitetty 21.1.2015. Luettu 21.1.2015.
- [6] Rakennustietosäätiö 1991. LVI-kortti 74-40005: Ilmankäsittelykoneen kosteuden säätö. PDF-dokumentti.
<https://www.rakennustieto.fi.ezproxy.mikkeli.amk.fi/kortistot/tuotteet/LVI1576.html.stx>. Päivitetty 2.12.2014. Luettu 5.1.2015.
- [7] Sandberg, Esa. Ilmastointilaitoksen mitoitus: Ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikkajulkaisut Oy. 2014.
- [8] Kaunisto, Jukka. Puhelinkeskustelu 20.1.2015. Käyttöpäällikkö. Lahden Sibelius-talo Oy.
- [9] Muttilainen, Juha. Sähköposti 22.1.2015. Johtava asiantuntija. Senaatti-Kiinteistöt.

- [10] Vepsäläinen, Jussi. Puhelinkeskustelu 15.1.2015. ISS-Palvelut Oy.
- [11] Koivisto, Marko. Puhelinkeskustelu 28.1.2015. Kiinteistöpäällikkö. Tampere-talo.
- [12] Lehtinen, Henri. Puhelinkeskustelu 28.1.2015. Suomen Kansallisooppera.
- [13] Rakennustietosäätiö. 2008. LVI-kortti 05-10440:Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. PDF-dokumentti. <https://www.rakennustieto.fi/ezproxy.mikkeli.amk.fi/kortistot/tuotteet/LVI1576.html.stx>. Päivitetty 2.12.2014. Luettu 5.1.2015.
- [14] Säätilastoja Kuopiosta. WWW-dokumentti. www.wunderground.com. Päivitetty 13.2.2015. Luettu 13.2.2015.
- [15] Fläkt Woods Oy. Valintaohjelmisto. <http://www.flaktwoods.fi/valintaohjelmat/acon/>. Päivitetty 25.2.2015. Luettu 25.2.2015.
- [16] Kuopion Energia. Sähkön hinnasto. WWW-sivu. <http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkohinnastot>. Päivitetty 27.2.2015. Luettu 27.2.2015.
- [17] Kuopion Energia. Kaukolämpöhinnasto 1.1.2015 alkaen. PDF-dokumentti. http://www.kuopionenergia.fi/filebank/2454-KL_hinnasto_010115.pdf. Päivitetty 27.2.2015. Luettu 27.2.2015.
- [18] Kuopio Vesi. Vesimaksut. WWW-sivu. <http://www.kuopio.fi/web/kuopion-vesi/maksut>. Päivitetty 27.2.2015. Luettu 27.2.2015.
- [19] Humidity Calculator 3.1. Kosteuslaskin. http://go.vaisala.com/humiditycalculator/vaisala_humidity_calculator.html?lang=fi. Päivitetty 25.2.2014. Luettu 25.2.2015.

[20] Ympäristöministeriö. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3: Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. PDF-dokumentti.

http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf . Päivitetty 25.3.2015.

Luettu 25.3.2015.

[21] Grundfos Oy. WWW-sivu. <http://fi.grundfos.com/>. Päivitetty 26.2.2015. Luettu

26.2.2015.

